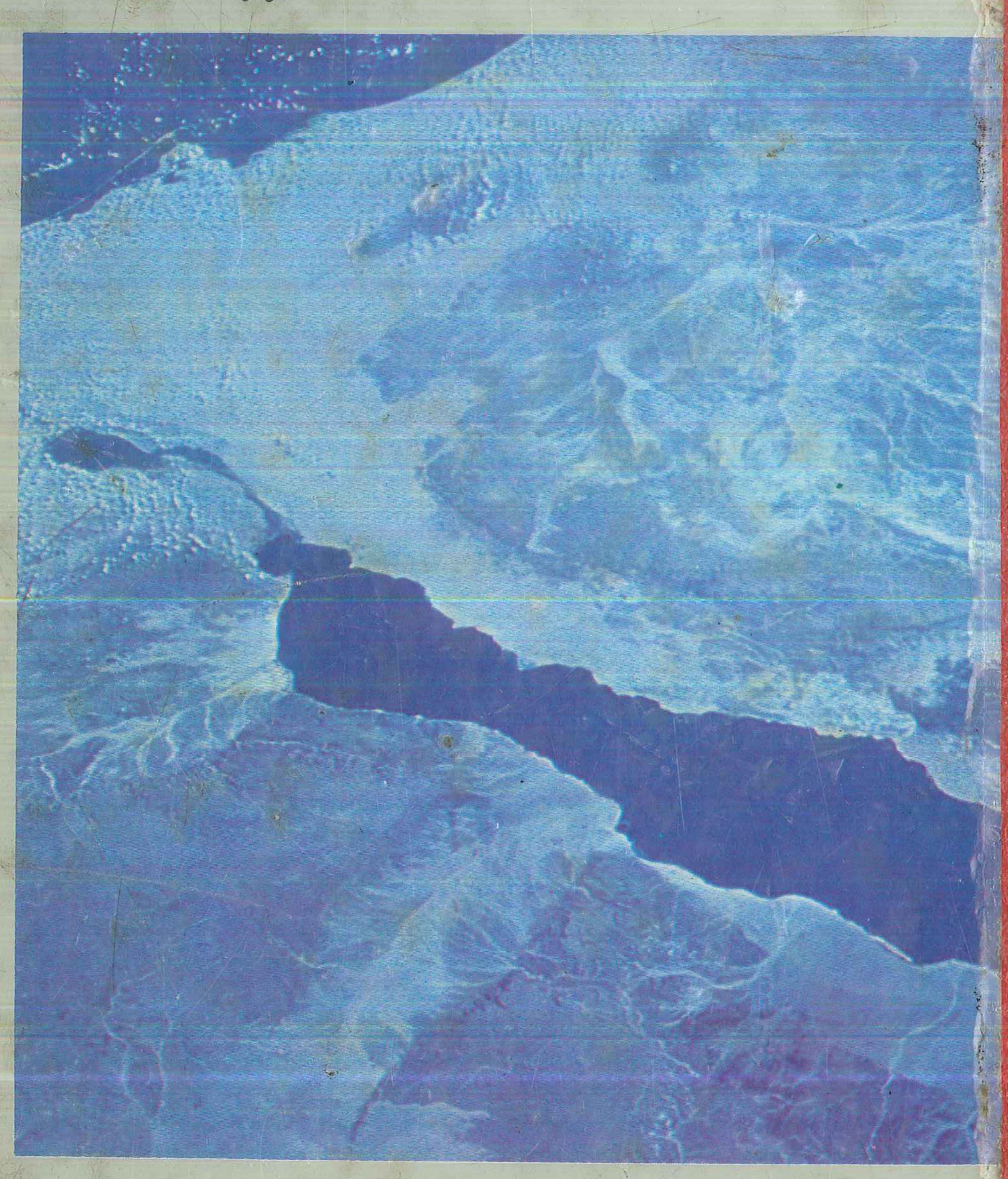
الأرض

مقدمة للجيولوجيا الطبيعية



لوتجنز

ترجمة:

د. عمر سليمان حموده

د. البهلول على اليعقوبى

د. مصطفى جمعه سالم

Translated From
Edward J. Tarbuck
Frederick k. Lutgens, 1984
The Earth
An Introduction to
physical Geology.
Charles E. Merrill
Publishing Company

المحتويات

3 ـ الصخور النّارية

4 ـ النشاط البركاني

5 ـ التجـويـة والتربـة

6 ـ الصخـور الرسوبيـة

7 ـ الصخور المتحولة

8 ـ تبدد الكتل

9 ـ المياه العذبة

10 ـ المياه الجوفية

11 ـ المجالد والتجلّد

12 ـ الصحارى والرياح

13 ـ الشواطيء

14 ـ الزلازل

15 ـ بـاطن الأرض

16 ـ حركيـة الألواح

17 ـ طبيعة قاع المحيط وتطوره

18 ـ بناء الجبال وتطور القارات

19 ـ الزمن الجيولوجي

20 ـ جيولوجية الكواكب

مقدمة المترجمين

لأسباب تاريخية وحضارية ودون الحاجة الى الخوض في المبررات وجدنا أنفسنا مدفوعين لتدبير أمر كتاب باللغة العربية يتناول مبادىء الجيولوجيا الطبيعية ويكون مناسبا لمنهج السنة الأولى بالجامعات العربية ويلبي متطلبات التطور والتجديد المستمرين في المناهج الجامعية، وذلك كجزء من خطط تعريب المناهج الأمر الذي تأخر كثيرا وأصبح ضرورة ملحة لا يمكن تجاهلها أو تأجيلها الى أبعد من ذلك.

ومن بين الخضم الهائل من الكتب الأجنبية وما توفر لنا من تراجم ومؤلفات باللغة العربية كان لنا أن نقرر. فقد استبعدنا منذ البداية فكرة التأليف، ذلك لعلمنا بالوقت الطويل اللازم لجمع المعلومات والاحصائيات وتحضير الرسومات والصور التوضيحية المناسبة، التي هي أساس مثل هذا العمل في مجال يخوض في كل ما يتعلق بظواهر الأرض ومكوناتها ظاهراً كان أم باطناً، بارزاً فوق سطح الماء أو مغموراً. وقد استبعدنا أيضاً فكرة استعمال أي من الكتب العربية المؤلفة أو المترجمة المتوفرة لدينا لأننا لم نجد في أي منها الحد الأدنى لما نرنو إليه من الشمولية والوضوح التي تواكب ما وصل إليه العالم من تطور في أسلوب عرض المعلومات ومحاولة تجسيدها رسماً وصورة قبل الكلمة.

وبعد أن بقي أمامنا خيار الترجمة كان لزاماً أن نفاضل بين كثير من الكتب الحديثة التى تخرج بها علينا دور النشر العالمية سنة بعد أخرى. ولم يكن ذلك بالأمر السهل، حيث أن طبيعة التخصص تحتم إرجاع القاريء إلى أمثلة واقعية وبالتالي مواقع جغرافية معينة. والظواهر الجيولوجية من هذه الناحية نمطان: الأول فريد من نوعه أو يكاد، ولا خيار للكاتب هنا من ذكر موقعه أينما كان. أما النمط الثاني فشائع الوجود في جميع أصقاع الكرة الأرضية وبالتالي فإن الكاتب سيختار أقربها إليه بحكم وجودها في دائرة اهتماماته البحثية أو على الأقل داخل دائرة معلوماته المكانية. وعليه فإن البحث عن مؤلف يتناول المبادىء الأساسية للجيولوجيا الطبيعية دون التركيز على منطقة جغرافية معينة يُعَدُّ أمراً مستحيلاً للسبب الذي ذكرناه حول العلاقة الواضحة بين الجيولوجي ومحيطه الجغرافي.

وبناء على هذه المعطيات، وقع اختيارنا على كتاب الأرض، الذي ترجمته بين يديك عزيزي القارىء. فقد أعجبنا شموليته وحداثة معلوماته التي استُمِدَّت في كثير من الأحيان من كامل بقاع الأرض. كما جمع بين أشهر الأمثلة وأكثرها وضوحاً مما سيساعد القراء الكرام على تفهم الظواهر الجيولوجية العامة ومقارنتها ببلدانهم ومحيطهم الجغرافي دون الالتفات الى موقع ذلك المثال والتركيز على كونها ظاهرة طبيعية نتجت عن تفاعل قوانين الخالق وخلقه، ومن ثمَّ تسخير هذه المعلومات للكشف عن ثرواتهم الطبيعية كالنفط والغاز والماء والمعادن.

ولكون هذه الترجمة موجهة الى القارىء العربي، وللأعتبارات السابقة، فقد قمنا بحذف بعض الرسومات ذات الطابع الجغرافي الضيق والتي لن تفيد القارىء، دون المساس بالمستوى العلمي للكتاب وما يعرضه من معلومات.

وقد اجتهدنا في إختبار المصطلحات العلمية المستعملة في هذه المادة، إلى جانب إقتراح كلمات جديدة لم تستعمل من قبل. وأملنا كبير هنا في أن نكون قد وفقنا في محاولتنا هذه التي لا شك في أنها خطوة متواضعة على طريق طويل وصعب سيقابلنا عبره المشكك الذي لن نلتفت إليه والمشجع الناقد بموضوعية والذي نرحب بمقترحاته ونقده من أجل تقديم الأفضل.

ونتقدم هنا بشكرنا وتقديرنا للزميلين الدكتور على محمد سبيطه والدكتور أمين عبدالله المسلاتى اللذين قاما بمراجعة الترجمة وساهما بتقديم ملاحظاتهما البناءة خلال مرحلة المراجعة. كما نتقدم بوافر الشكر الى الادارة العامة للمطبوعات والنشر بمجمع الفاتح للجامعات بطرابلس لجهودها المضنية في متابعة مراحل طباعة هذا الكتاب والحصول على إذن ترجمته من الناشر الأصلي.

ونسأل الله العلي القدير أن يوفقنا جميعا لخدمة أمتنا والوصول بها إلى مواقع جديدة من العزة والمجد.

المترجمون

مـدخـل

لقد جعلتنا وسائل الإعلام في السنوات الأخيرة نزداد وعياً بدور القوى الجيولوجية العاملة داخل بيئتنا الطبيعية. فقد جسدت لنا التقارير الاخبارية بالصورة القوة الهائلة لاندلاع بركان والدمار الذي تسببه الزلازل والحشود الغفيرة التي تتركها التدفقات الطينية والفيضانات دون مأوى. كل هذه الحادثـات وغيرهـا على السـواء مدمـرة للأرواح والممتلكات، ولا بد لنا من تفهمها بعمق وأن نتعلم كيف نتعامل معها. ولبيئتنا الطبيعية أهمية أعظم لكون أن الأرض بيتنا الكبير. ولا تقف أهمية الأرض عند كونها مصدر المعادن التي هي أساس مجتمعنا الحديث، ولكنها تمثل أيضاً مصدر معظم المتطلبات المدعمة للحياة نفسها. ومن هذا المنطلق يجب أن يتعرّف أكبر عدد ممكن من أفراد المجتمع الى وسائل عمل هذه الأرض.

ومن هذا المنطلق قمنا بتأليف كتاب لمساعدة الجميع على تفهم بيئتهم الطبيعية، آملين أن تشجع هذه المعرفة الجديدة البعض في المشاركة الفعالة لحفظ البيئة، وأن تحفز البعض الآخر لمزاولة مهنة أحد مجالات علوم الأرض. وعلى نفس القدر من الأهمية نحن نعتقد أن المعرفة الأساسية للأرض ستعمل على تجدير شعورنا بأهمية كوكبنا وبالتالي تزيد من تمتع القارىء بمعنى الحياة.

وقد تمَّ تأليف كتاب الأرض هذا للمتخصصين وغير المتخصصين الذين يدرسون أول مقرراتهم في علم الأرض. ولقد حاولنا ليس فقط كتابة مرجع غني بالمعلومات وفي وقت مناسب، ولكنه غير عادي أيضاً. فلغته سهلة وفي متناول فهم الطلبة حديثي العهد بالجامعة. فقد ابتعدنا عن الرطانة في الاسلوب. وعند تقديمنا لمصطلحات جديدة عملنا على كتابتها بحروف مميزة مع تعريفها. زد على ذلك أن هناك قائمة بالمصطلحات الهامة في نهاية كل فصل مرتبة حسب الحروف الأبجدية. كما أن هناك بالاضافة الى ذلك سرد للمصطلحات الهامة بنهاية الكتاب. وقد رأينا وجوب كتابة مجموعة من الأسئلة بنهاية كل فصل كوسيلة تعليمية إضافية للطالب.

وحيث أن الجيولوجيا علم مشاهدة فإننا قد أولينا لنوعية الصور والرسومات أهمية كبيرة في هذا الكتاب. أما الصور الملونة وغير الملونة فقد اختيرت لزيادة الواقعية الى الموضوع الى جانب جلب إهتمام القارىء. كما أن إخراج الكتاب ووضوحه سيساعدان أيضاً القارىء على تصور المفاهيم الصعبة وتيسيرها.

ولقد حاولنا قدر الامكان تزويد القارىء باحساس فنون الملاحظة ووسائل الاقناع الجيولوجية. وعلم الأرض، شأنه في ذلك شأن باقي العلوم، عبارة عن مجموعة من الحقائق التي تتلخص في الطرائق المختلفة لسبر مجاهل الكرة الأرضية من أجل كشف أسرارها. وتشمل هذه الوسائل جمع المعلومات اللازمة لاستعمالها في إختبار نظريات طبيعة القوى التي تعمل على تشكل كوكبنا المتغيّر. بالاضافة الى تفهمنا الأنسب لهذه الوسائل الطبيعية، فإن

مـــدخـــل

لقد جعلتنا وسائل الإعلام في السنوات الأخيرة نزداد وعياً بدور القوى الجيولوجية العاملة داخل بيئتنا الطبيعية. فقد جسدت لنا التقارير الاخبارية بالصورة القوة الهائلة لاندلاع بركان والدمار الذي تسببه الزلازل والحشود الغفيرة التي تتركها التدفقات الطينية والفيضانات دون مأوى. كل هذه الحادثـات وغيرهـا على السـواء مدمـرة للأرواح والممتلكات، ولا بد لنا من تفهمها بعمق وأن نتعلم كيف نتعامل معها. ولبيئتنا الطبيعية أهمية أعظم لكون أن الأرض بيتنا الكبير. ولا تقف أهمية الأرض عند كونها مصدر المعادن التي هي أساس مجتمعنا الحديث، ولكنها تمثل أيضاً مصدر معظم المتطلبات المدعمة للحياة نفسها. ومن هذا المنطلق يجب أن يتعرّف أكبر عدد ممكن من أفراد المجتمع الى وسائل عمل هذه الأرض.

ومن هذا المنطلق قمنا بتأليف كتاب لمساعدة الجميع على تفهم بيئتهم الطبيعية، آملين أن تشجع هذه المعرفة الجديدة البعض في المشاركة الفعالة لحفظ البيئة، وأن تحفز البعض الآخر لمزاولة مهنة أحد مجالات علوم الأرض. وعلى نفس القدر من الأهمية نحن نعتقد أن المعرفة الأساسية للأرض ستعمل على تجدير شعورنا بأهمية كوكبنا وبالتالي تزيد من تمتع القارىء بمعنى الحياة.

وقد تـمّ تأليف كتاب الأرض هذا للمتخصصين وغير المتخصصين الذين يدرسون أول مقرراتهم في علم الأرض. ولقد حاولنا ليس فقط كتابة مرجع غني بالمعلومات وفي وقت مناسب، ولكنه غير عادي أيضاً. فلغته سهلة وفي متناول فهم الطلبة حديثي العهد بالجامعة. فقد ابتعدنا عن الرطانة في الاسلوب. وعنـد تقديمنـا لمصطلحات جديدة عملنـا على كتابتها بحروف مميزة مع تعريفها. زد على ذلك أن هنـاك قائمة بالمصطلحات الهامة في نهاية كل فصل مرتبة حسب الحروف الأبجدية. كما أن هناك بالاضافـة الى ذلك سرد للمصطلحات الهامة بنهاية الكتاب. وقد رأينا وجوب كتابة مجموعة من الأسئلة بنهاية كل فصل كوسيلة تعليمية إضافية للطالب.

وحيث أن الجيولوجيا علم مشاهدة فإننا قد أولينا لنوعية الصور والرسومات أهمية كبيرة في هذا الكتاب. أما الصور الملونة وغير الملونة فقد اختيرت لزيادة الواقعية الى الموضوع الى جانب جلب إهتمام القارىء. كما أن إخـراج الكتـاب ووضوحه سيساعدان أيضاً القارىء على تصـور المفـاهيم الصعبة وتيسيرها.

ولقد حاولنا قدر الامكان تزويد القـارىء باحسـاس فنون الملاحظة ووسائل الاقناع الجيولوجية. وعلم الأرض، شأنه في ذلك شأن باقي العلوم، عبـارة عن مجموعـة من الحقائق التي تتلخص في الطرائق المختلفـة لسبر مجاهـل الـكرة الأرضية من أجـل كشف أسرارهـا. وتشمـل هذه الوسائل جمع المعلومات اللازمة لاستعمالها في إختبار نظريات طبيعة القـوى التـي تعمـل على تشكـل كوكبنـا المتغـيّر. بالاضافة الى تفهمنا الأنسب لهذه الوسائل الطبيعية، فإن

مـدخـل

لقد جعلتنا وسائل الإعلام في السنوات الأخيرة نزداد وعياً بدور القوى الجيولوجية العاملة داخل بيئتنا الطبيعية. فقد جسدت لنا التقارير الاخبارية بالصورة القوة الهائلة لاندلاع بركان والدمار الذي تسببه الزلازل والحشود الغفيرة التي تتركها التدفقات الطينية والفيضانات دون مأوى. كل هذه الحادثات وغيرها على السواء مدمرة للأرواح والممتلكات، ولا بد لنا من تفهمها بعمق وأن نتعلم كيف نتعامل معها. ولبيئتنا الطبيعية أهمية أعظم لكون أن الأرض بيتنا الكبير. ولا تقف أهمية الأرض عند كونها مصدر المعادن التي هي أساس مجتمعنا الحديث، ولكنها تمثل أيضاً مصدر معظم المتطلبات المدعمة للحياة نفسها. ومن هذا المنطلق يجب أن يتعرّف أكبر عدد ممكن من أفراد المجتمع الى وسائل عمل هذه الأرض.

ومن هذا المنطلق قمنا بتأليف كتاب لمساعدة الجميع على تفهم بيئتهم الطبيعية، آملين أن تشجع هذه المعرفة الجديدة البعض في المشاركة الفعالة لحفظ البيئة، وأن تحفز البعض الآخر لمزاولة مهنة أحد مجالات علوم الأرض. وعلى نفس القدر من الأهمية نحن نعتقد أن المعرفة الأساسية للأرض ستعمل على تجدير شعورنا بأهمية كوكبنا وبالتالي تزيد من تمتع القارىء بمعنى الحياة.

وقد تمّ تأليف كتاب الأرض هذا للمتخصصين وغير المتخصصين الذين يدرسون أول مقرراتهم في علم الأرض. ولقد حاولنا ليس فقط كتابة مرجع غني بالمعلومات وفي وقت مناسب، ولكنه غير عادي أيضاً. فلغته سهلة وفي متناول فهم الطلبة حديثي العهد بالجامعة. فقد ابتعدنا عن الرطانة في الاسلوب. وعند تقديمنا لمصطلحات جديدة عملنا على كتابتها بحروف مميزة مع تعريفها. زد على ذلك أن هناك قائمة بالمصطلحات الهامة في نهاية كل فصل مرتبة حسب الحروف الأبجدية. كما أن هناك بالاضافة الى ذلك سرد للمصطلحات الهامة بنهاية الكتاب. وقد رأينا وجوب كتابة مجموعة من الأسئلة بنهاية كل فصل كوسيلة تعليمية إضافية للطالب.

وحيث أن الجيولوجيا علم مشاهدة فإننا قد أولينا لنوعية الصور والرسومات أهمية كبيرة في هذا الكتاب. أما الصور الملونة وغير الملونة فقد اختيرت لزيادة الواقعية الى الموضوع الى جانب جلب إهتمام القارىء. كما أن إخراج الكتاب ووضوحه سيساعدان أيضاً القارىء على تصور المفاهيم الصعبة وتيسيرها.

ولقد حاولنا قدر الامكان تزويد القارىء باحساس فنون الملاحظة ووسائل الاقناع الجيولوجية. وعلم الأرض، شأنه في ذلك شأن باقي العلوم، عبارة عن مجموعة من الحقائق التي تتلخص في الطرائق المختلفة لسبر مجاهل الكرةالأرضية من أجل كشف أسرارها. وتشمل هذه الوسائل جمع المعلومات اللازمة لاستعمالها في إختبار نظريات طبيعة القوى التي تعمل على تشكل كوكبنا المتغيّر. بالاضافة الى تفهمنا الأنسب لهذه الوسائل الطبيعية، فإن

هذا النشاط غالبا ما يؤدي الى اعادة تقييم الأفكار التي تمّ التوصل إليها في أوقات كانت فيها معلوماتنا أكثر محدودية منها اليوم. ويوجد بالفصل 16 مثال جيدة للكشف عن الحقائق الجيولوجية واعادة تقييمها. فقد تتبعنا هنا الأطوار التاريخية ورد فعل الرفض للنظرية القائلة بأن القارات تنجرف على سطح الكرة الأرضية، ثمّ تفحصنا المعلومات التي أدت إلى اعادة ولادة هذه الفكرة من جديد كجزء من مفهوم أشمل عرف بحركية الألواح.

أما ترتيب المواضيع داخل الكتاب فقد جاءت في نسق تقليدي. فبعد النظرة الشاملة لعلم الأرض في فصل المقدمة جاء شرح مواد الأرض ومفاهيم البراكين والتعرية ذات العلاقة. وقد ورد بعدها عمل الجاذبية والماء والجليد على تشكيل ونحت وجه البسيطة. وبعد هذه النظرة للعوامل الخارجية نأتي على ذكر تركيب الأرض الداخلي وعوامل تشكّل الصخور وبناء الجبال. وينتهي الكتاب بفصول تناولت الزمن الجيولوجي والنظام الشمسي. وقد جاء هذا الترتيب ليتناسب ودراسة الصخور في المعمل، الذي عادة ما يقوم به الطالب باكرا أثناء دراسته لهذه المادة. ولعلمنا بتفضيل بعض الأساتذة تولٍ للمواضيع قد يختلف عن هذا فقد عمدنا على جعل كل فصل من فصول هذا الكتاب وحدة متكاملة. فإذا ما فضل أحدهم تناول البراكين وحركية الألواح وبناء الجبال قبل التعرية لأمكنه ذلك دون صعوبة.

وقد عمدنا أيضاً الى التعرض لنظرية حركية الألواح بالفصل الأول لتسهيل إمكانية استعمالها في المواقع المناسبة بالكتاب. وبالرغم من أن هذه النظرية جزء مكمل لهذا الكتاب إلا أننا لم نقم بتغطيتها على حساب المواضيع الأخرى. وفي الوقت الذي تكون فيه حركية الألواح نظرية ساحرة وهامة جدا لفهم ديناميكية الأرض، إلا أن المواضيع الأخرى تبقى مهمة أيضا ومفيدة للطلبة المبتدئين. غير أننا قد إختلفنا في شيء واحد عن الكتب المشابهة. فبدلا من أن نفرد فصولاً عن المشاكل البيئية وموارد الأرض الطبيعية أتينا على ذكرها بالكتاب كلما كان ذلك مناسباً. فمثلا نجد شرح الوقود الإحاثي بفصل الصخور الرسوبية، وموضوع تلوث الآبار بفصل المياه الجوفية، وموضوع محاولة التحكم في تعرية الشاطىء بفصل الشواطىء.

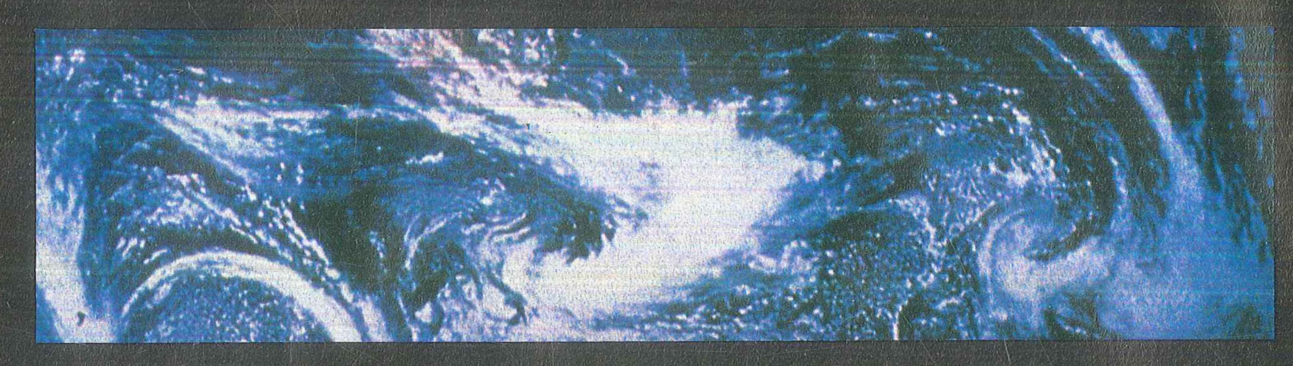
وكما هو الحال في مثل هذا المشروع تبقى مشاركة الآخرين مهمة جدا وعديدة حتى يصعب سردها. ويبقى العرفان الاكبر لأساتذتنا وزملائنا وطلبتنا الذين حفزونا على التعمق في المعرفة. وبهذه المناسبة نتقدم بجزيل شكرنا الى العديد من الأفراد والمؤسسات التي زودتنا بالمعلومات والصور والرسوم التوضيحية لاستعمالها في هذا الكتاب.

المؤلفان

إ. ج. ت.

ف. ك. ل.

1



مقدمة لعلـــم الجيولـوجيا


1

بعض الملاحظات التاريخية عن الجيولوجيا

- مولد الجيولوجيا الحديثة.
- نظرية الكوارث.

الزمن الجيولوجي والتقويم الجيولوجي.
نشأة الأرض.
نظرة الى الأرض.
الأرض دائمة الحركة.
دورة الصخور.

إن المشهد الهائل لاندلاع بركان، والرّعب الذى يحدثه زلزال، والمنظر الرّائع لواد جبلى، والحطام الناشىء عن انهيار جبلى، كل هذه ظواهر تقع ضمن اهتمام الجيولوجيين. فدراسة علم الأرض تسعى دائما للإجابة على عدة تساؤلات لعدد من المواضيع العملية والخلاّقة حول بيئتنا الطبيعية. ومن أهم هذه التساؤلات: ما هى القوى المكوّنة للجبال؟ ..كيف كان العصر الجليدى؟ .. هل سيكون هناك عصر جليدى آخر؟ .. ما الذى كان سببا فى نشأة هذا الكهف والهوابط الصخرية المتدلية من سقفه؟ .. هل نبحث عن المياه هنا؟ ..هل التعدين بالتجريد عملى فى هذه المنطقة؟ .. هل يمكن العثور على النفط بحفر بئر فى هذا الموقع؟ .. ماذا سيحدث لو تم الردم والبناء فى المحجر القديم؟ ..

وموضوع هذا الكتاب هو علم الأرض فهو يعنى بالتحديد دراسة الأرض وفهم نشأتها وتكوينها، وهذا ليس بالخطب الهينّ. فالأرض ليست كتلة صخرية غير متغيرّة، ولكنها جسم متحرك له تاريخ طويل ومعقد.

وقد اتّفق على تقسيم علم الأرض الى فرعين رئيسين، هما: - علم الأرض الطبيعى وعلم الأرض التاريخى. وعلم الأرض الطبيعى هو الهدف الأول لهذا الكتاب، فهو يبحث فى المواد المكونة للأرض، ويسعى لفهم الظواهر التى تحدث تحت أو فوق سطحها. أما من الناحية الأخرى، فان هدف علم الأرض التاريخى هو فهم أصل الأرض وتطورها عبر الأزمنة الغابرة. ولهذا فهو يسعى لتأسيس نظام زمنى مرتّب للتغيرات الطبيعية والحياتية المتعددة التى توالت عبر الماضى البعيد. وطبيعى أن تسبق دراسة تاريخ الأرض دراسة الجيولوجيا الطبيعية، لأنه لا بد لنا من معرفة الطريقة التى تتغير بها الأرض قبل محاولة كشف ماضيها.

بعض الملاحظات التاريخيّة عن الجيولوجيا

كانت طبيعة أرضنا - مكوناتها والعوامل المؤثرة فيها - موضع اهتمام ودراسة لعدة قرون. اذ ترجع الكتابات عن بعض المواضيع، مثل: المستحاثات والأحجار الكريمة والزلازل والبراكين الى عهد الاغريق، أى أكثر من 2300 سنة مضت. ولقد كان وبكل تأكيد للفيلسوف اليونانى أرسطو أبلغ الأثر فى هذا المضمار. وبطبيعة الحال فان أرسطو كان فيلسوفا، ولذا لم تكن تفسيراته دائما مبنية على ملاحظات وتجارب، ولكنها فى الغالب كانت مشاهدات عابرة. فقد كان يعتقد أن الصخور تكونت تحت تأثير النجوم وأن حدوث الزلازل يرجع الى هروب الهواء أو الغازات المتراكمة فى جوف الأرض بعنف نتيجة تسخينها بنيران مركزية. وعندما قدمت له مستحاثة لسمكة، فسرّها بأن هناك عددا كبيرا من الأسماك تعيش فى الأرض دون حركة ويعثر عليها فى عمليات الحفر. لعل تفسيرات أرسطو ملائمة لعصره ورغم انها استمرت سائدة لعدة قرون، ولكنها لسوء الحظ وقفت حجر عثرة أمام قبول أية تفسيرات جديدة. ويقول فرانك د. آدمز فى كتابه (نشأة وتطور علوم الأرض 1938) - طيلة القرون الوسطى كان يعتبر أرسطو على رأس جميع الفلاسفة، ويعد رأيه فى أى موضوع رأيا نهائيا يعتد به.

نظرية الكوارث:

خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر، كانت نظرية الكوارث تشكّل الفلسفة السائدة التى تفسرّ حركيّة

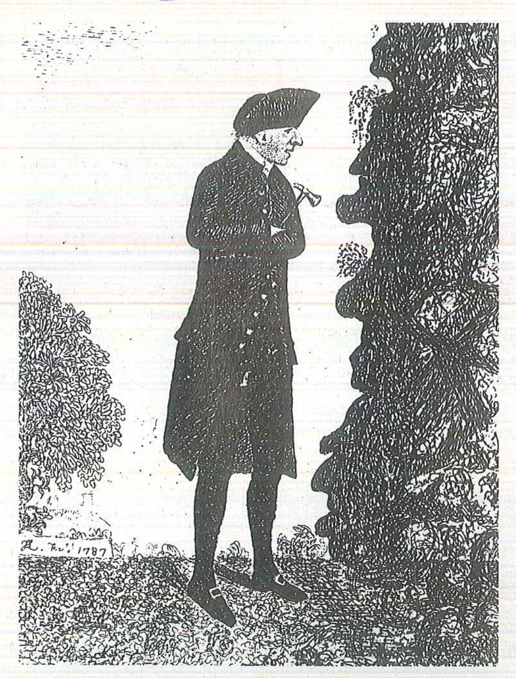
الأرض. وباختصار فان المؤيدين لهذه النظرية يعتقدون بأن تغيّر سطح الأرض يتم عن طريق كوارث هائلة. فالملامح المتمثلة فى الجبال والأخاديد التى نعرف اليوم أنها تأخذ وقتا طويلا لتتكوّن، كانت تفسرّ على أنها نشأت عن طريق كوارث عالمية مفاجئة بمسببات غير معروفة، ولم تعد مثيلاتها تحدث فى الوقت الحاضر. وهذه الفلسفة هى محاولة للربط بين معدلات التغيرّ التى تطرأ على القشرة الأرضية والأفكار السائدة آنذاك حول عمر الأرض. فقد أعلن القسيس جيمس أشر سنة 1654 أن عمر الأرض هو 6000 سنة تقريبا حيث أنها خلقت سنة 4004 قبل الميلاد. وقد أعلن قسيس آخر بالتحديد أن الأرض قد خلقت عند الساعة التاسعة صباحا من يوم 26 أكتوبر سنة 4004 قبل الميلاد.

ولقد لخصت العلاقة بين عمر الأرض ونظرية الكوارث فيما يلى:

حقيقة أن الأرض مرّت بأحداث متعددة وأنها شهدت تغيرّات فظيعة خلال تاريخها الغامض، هذا أمر واضح تماما لكل عين فاحصة. ولكن تجميع هذه التغيرّات فى فترة قصيرة تعد بآلاف السنين قد تحتاج الى فلسفة تناسب المقام وهذه الفلسفة تعتمد على التغيرّات العنيفة والمفاجئة.

مولد الجيولوجيا الحديثة:

غالبا ما يعتبر آخر القرن الثامن عشر نقطة البداية لعلم الجيولوجيا الحديثة، حيث أنه خلال هذه الفترة وضع العالم الاسكتلندى جيمس هاتون مبدءا عرف فيما بعد «بنظرية الانتظام» (شكل 1-1)، والانتظام مبدأ أساسى فى الجيولوجيا الحديثة وهو يعنى ببساطة أن القوانين الطبيعية والكيميائية والحياتية السائدة فى الحاضر هى نفسها التى كانت سائدة فى الماضى. وهذا يعنى أن القوى والأساليب التى نراها اليوم تغيّر شكل كوكبنا قد سادت بنفس الطريقة فى الماضى. ومن هذا المنطلق لكى نفهم الصخور القديمة لا بد لنا من دراسة العمليات السائدة اليوم بالاضافة الى



شكل 1 ـ 1

صورة هزلية حديثة تمثل جيمس هاتون، الجيولوجى الاسكتلندى من القرن الثامن عشر والذى لقب بأبى الجيولوجيا الحديثة أما الوجوه المبحلقة فى وجه هاتون من الصخور المقابلة فربما تمثل خصومه وأكثر منتقديه كلاماً.

نتائجها. وعادة ما نعبر عن هذه الفكرة بقولنا: ان الحاضر هو مفتاح للماضى.

وقبل ظهور نظرية هاتون المتعلقة بالأرض لم يوضح أحد علاقة الجيولوجيا بالطول المفرط فى الزمن. وقد حاول هاتون باصرار التأكيد على أن القوى التى تبدو صغيرة، اذا ما استمرت لفترات طويلة من الزمن، فانها تنتج آثارا تعادل تلك التى تسببها الكوارث المفاجئة. وعلى النقيض من سابقيه، فقد قدم هاتون أدلة دامغة تؤيد أفكاره. ومن الأمثلة على ذلك قوله بأن الجبال تتشكل وتذوى بواسطة عوامل التعرية وفعل المياه الجارية وأن بقاياها تنقل الى المحيطات بواسطة عمليات يمكن مشاهدتها، وأضاف: بأنه لدينا سلسلة من الحقائق تؤكد بوضوح أن المواد الناشئة من تآكل الجبال قد انتقلت عن طريق الأنهار. وزيادة على ذلك لا توجد خطوة واحدة، فى هذا المضمار، لا تخضع للمشاهدة الفعلية. واستطرد ليلخص هذه الخاطرة بسؤال أعقبه مباشرة

آذان صلاة الفجر الساعة 4:27 الموافق 26-10-96م الجمعة

بالاجابة، ألا وهو أى شىء أكثر نريده؟... فى الواقع لا شىء غير الزمن.

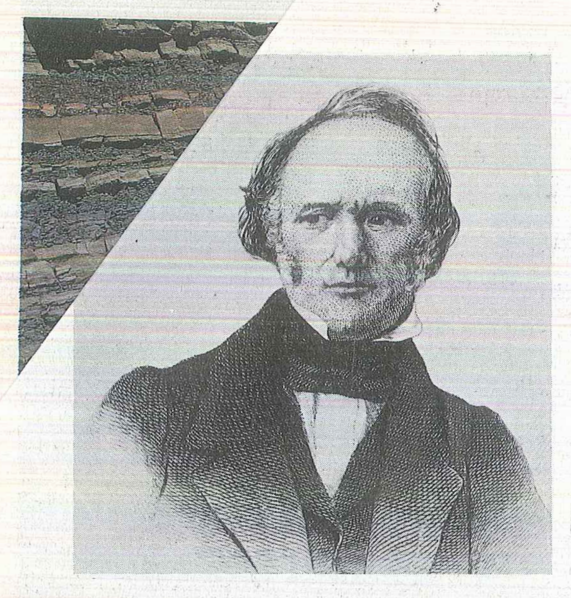
وحيث أن اسلوب هاتون كان غير مستساغ وصعب الفهم، فان اعماله لم تنتشر ولم يفهمها الكثيرون. ولكن هذا الموقف قد تغير عام 1802 عندما نشر زميله جان بلايفير شرحا للنظرية الهاتونية. وهو عبارة عن مجلد احتوى على أفكار هاتون بأسلوب أكثر سهولة ويسرا. والفقرة الشهيرة التالية من عمل بلايفير والتى هى عبارة عن صيغة جديدة لمبدأ هاتون الأساسى.

بالرغم من التغيرّات التى تطرأ على الأرض، فان نظام الطبيعة لم يتبدل، وأن قوانينها هى الوحيدة التى قاومت كل تغيرّ. فالأنهار والصخور والبحار والقارات قد اعتراها التغيرّ فى جميع أجزائها، ولكن القوانين التى تتحكم فى هذا التغيرّ والقواعد التى تُسيره قد بقيت دائما كما هى.

ورغم أن كتاب بلايفير قد اعطى دفعا لأفكار هاتون وساعد فى تفهم الجيولوجيا الحديثة، الا أن الجيولوجى الانجليزى تشارلز لاييل هو الذى حظى بالتقدير العظيم لمساهمته فى التعريف بمبادىء الجيولوجيا الحديثة (شكل 1 ـ 2) وذلك خلال الفترة من سنة 1830 الى سنة 1872 ، وقد صدر عن كتابه «أسس الجيولوجيا» إحدى عشرة طبعة. وكما هو معروف، فقد احتوى كتاب لاييل على عناوين مطوّلة تلخص أفكاره الأساسية.

وفى محاولة لشرح التغيرّات السابقة لسطح الأرض بالرجوع الى الأسباب القائمة الآن وبالتفصيل، فقد أوضح بعناية بالغة مبدأ وحدة الطبيعة عبر الزمن. ولقد كان أكثر قدرة من سابقيه وبصورة مقنعة على شرح، العمليات الجيولوجية التى نشاهدها اليوم. وهى نفسها التى كانت سائدة فى الماضى. وبالرغم من أن نظرية الانتظام هذه لم تكن من اكتشافه، وهى حقيقة اعترف بها صراحة، الا أنه كان أول من نجح فى تفسيرها وفى نشرها بين الناس.

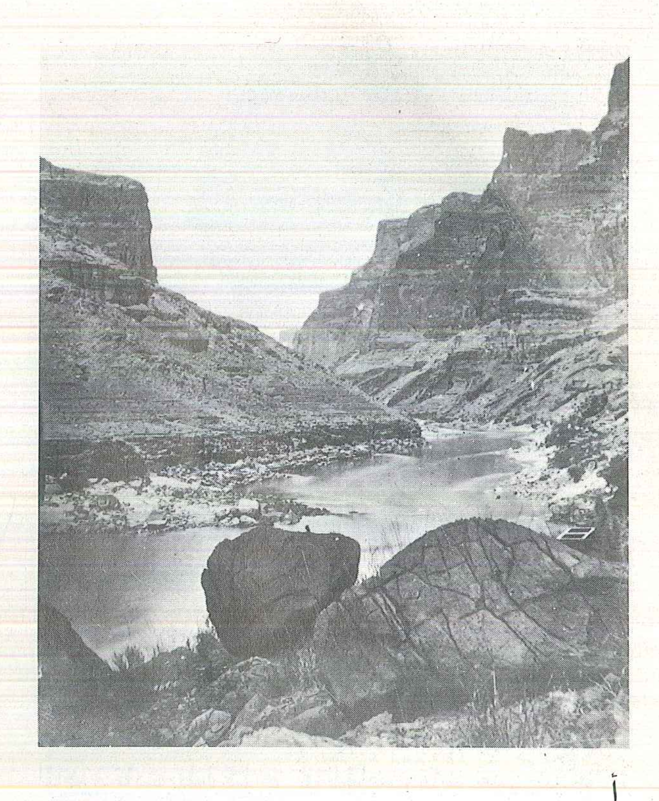
ورغم أهمية نظرية الانتظام للجيولوجيا الحديثة، يجب أن لا تؤخذ حرفيا. فعندما نقول أن العمليات الجيولوجية فى

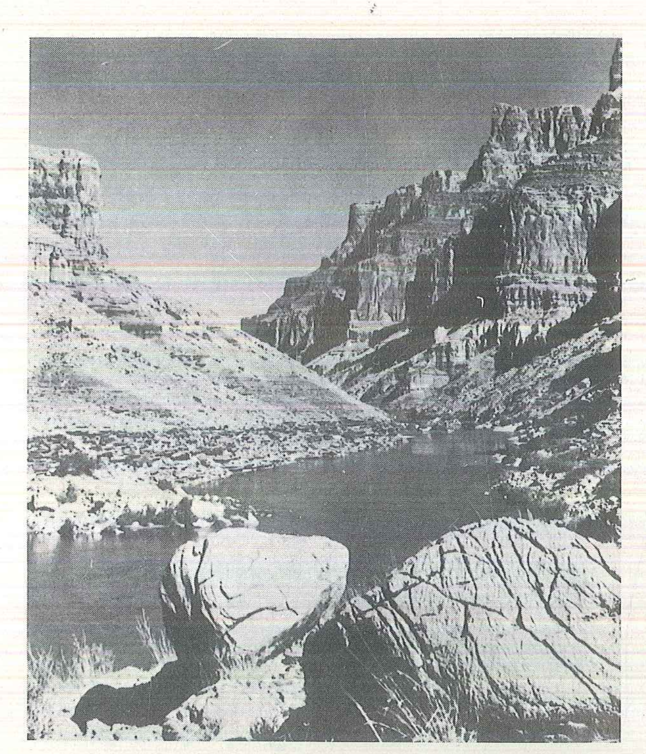


شكل 1 ـ 2
تشارلز لاييل الذى ساهم بكتابه «مبادىء الجيولوجيا الحديثة» بقسط كبير فى تقدم علوم الأرض.

الماضى كانت تماما كما هى فى الحاضر، فاننا نعنى أنها كانت تتم بنفس المعدل. ولو أن العمليات قد بقيت فى الغالب كما هى الا أن معدلاتها قد تفاوتت بدون شك عبر الزمن.

ان قبول مبدأ الانتظام يعنى قبول تاريخ طويل جدا للأرض لأن العمليات رغم تفاوت حدتها فهى لا تزال تستغرق وقتا طويلا لتبنى أو تزيل الملامح الأساسية لوجه الأرض. فمثلا الصخور التى تحوى مستحاثات لاحياء عاشت فى البحر منذ أكثر من 15 مليون سنة هى الآن جزء من جبال تقف شاهقة الى ارتفاع 3000 متر فوق سطح البحر. هذا يعنى أن الجبال قد رفعت 3000 متر خلال حوالى 15 مليون سنة أى بمعدل 0.2 مم فقط فى السنة، كما أن معدلات التعرية هى ايضا بطيئة (شكل 1 ـ 3). وتشير التقديرات الى أن قارة أمريكا الشمالية مثلا، تتضاءل بمعدل 3 مم فى الألف سنة. ويتضح مما سبق أن الطبيعة تستغرق عشرات الملايين من السنين لتبنى الجبال أو لتزيلها مرة أخرى. وحتى هذه الفترات الزمنية تعتبر قصيرة نسبيا اذا ما قيست بمعيار سلّم التاريخ الجيولوجى لأن سجل الصخور ينطوى على أدلة تبين أن الأرض قد مرت بعدة دورات من بناء الجبال وهدمها. وحول طبيعة الأرض الدائمة التغيرّ عبر





أ ب

شكل 1 ـ 3

كثيرا ما تتقدم العمليات الجيولوجية ببطء لدرجة انه لا يمكن الاحساس بالتغيرات التى تحدثها خلال جيل واحد. يفصل بين هاتين الصورتين اللتين أخذتا لنفس الموقع ما يقرب من مائة عام.

فترات طويلة من الزمن الجيولوجي، قال هاتون: نحن لا نجد علامة للبداية ولا نملك توقعا للنهاية. وهذه المقتطفة مما كتبه وليام ستوكس تلخص أهمية مبدأ هاتون الأساسى:

> **بالنظر الى أن الانتظام يعنى سيادة قوانين ومبادىء ثابتة وأزلية، فانه يمكن القول بأنه ليس هناك من أمر، فى علمنا الواسع وغير المتكامل، يتعارض مع هذه الحقيقة.**

وسنستعرض فى الصفحات التالية المواد الأساسية المكونة لكوكبنا والعمليات التى تشكل هذه المواد أو تحدث تغيرّا فيها. ومن المهم أن نتذكر أنه رغم وجود ملامح كثيرة لوجه الأرض قد تبدو دون تغيرّ عند ملاحظتها عبر عشرات السنين، فهى فى الحقيقة تتغير إلا أن تغيرها هذا يحدث بمقاييس مئات أو آلاف، أو ربما ملايين السنين، الأمر الذى يصعب ملاحظته.

الزمن الجيولوجي والتقويم الجيولوجي

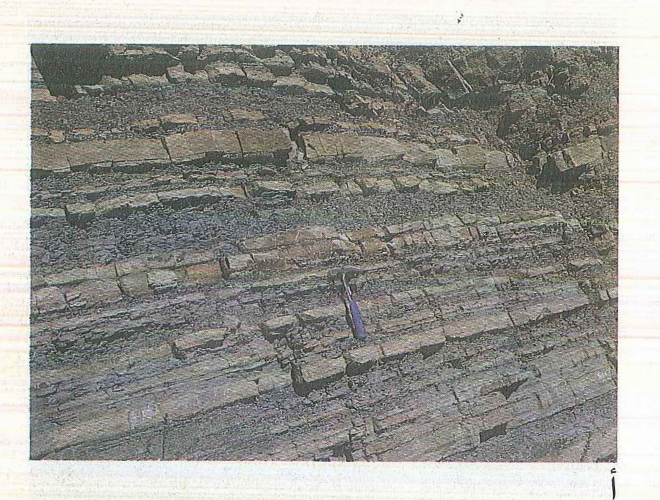
بالرغم من أن هاتون وبلايفير ولاييل وغيرهم قد أدركوا أن الزمن الجيولوجي موغل فى القدم فإنهم لم يكن لديهم أى وسيلة لتحديد عمر الأرض بدقة. ولكن باكتشاف الاشعاع الذرى قرب بداية القرن العشرين وبالتحسن المستمر الذى طرأ على طرق التأريخ الاشعاعى والتى طبقت لأول مرة سنة 1905 ، فان للجيولوجيين الآن القدرة على تحديد كثير من وقائع تاريخ الأرض تحديدا تصاحبه الدقة.وتحدد التقديرات الحالية عمر الأرض بين 4.6 و 4.8 بليون سنة.

يعدّ طول الزمن الجيولوجي من أصعب المفاهيم ادراكا، لأننا لا بد من أن نتعود على التفكير فى فترات زمنية أكبر بكثير مما تعلمناه من خلال تجاربنا. فملامح الأرض التى تبدو لنا وبدت لأجيال كثيرة غيرنا، أنها دائمة وغير متغيرة،

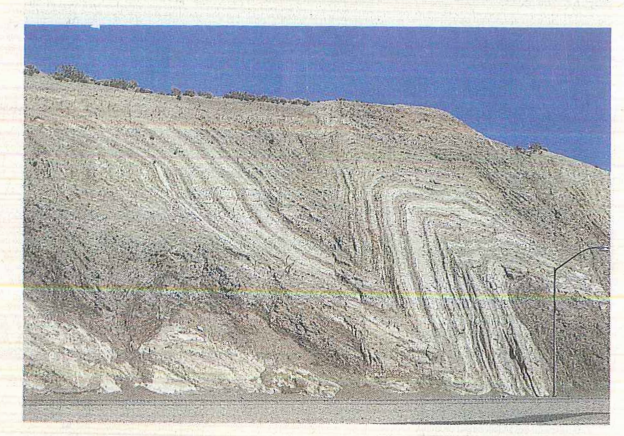
هى بحق تتغير ببطء شديد. فعبر ملايين السنين ترتفع الجبال ثم تضمحل وتصير هضابا وتنحت الأنهار مسالك عميقة. فإذا ما حاولنا معرفة كم هى مدة 4.6 بليون سنة، على سبيل المقارنة نبدأ العد بمعدل رقم واحد فى الثانية ونستمر 24 ساعة طيلة أيام الأسبوع دون توقف، فسوف نستغرق حوالى عمرين متتالين (150 سنة) لنصل الى 4.6 بليون. ويقدم دون أيكر أساسا آخر للمقارنة:

اذا ما تصورت على سبيل المثال، أن 4.5 بليون سنة تعادل سنة واحدة، على هذا المقياس، فان أقدم الصخور التى نعرفها تعود الى منتصف شهر مارس. وأول بداية للكائنات الحية فى البحر كان فى شهر مايو. أما النباتات والحيوانات البرية فقد ظهرت فى أواخر شهر نوفمبر والمستنقعات الكثيفة التى كونت رواسب الفحم الحجرى فى الحين الكربونى الأعلى قد ازدهرت لمدة اربعة أيام فى أوائل شهر ديسمبر وسادت الديناصورات فى وسط شهر ديسمبر ثم انقرضت فى 26 منه فى نفس الوقت الذى نشأت فيه جبال الروكى. أما الحيوانات التى تشبه الانسان فقد ظهرت فى مساء يوم 31 من شهر ديسمبر وبدأ انحسار آخر غطاء جليدى عن منطقة البحيرات العظمى وشمال أوروبا حوالى دقيقة واحدة و 15 ثانية قبل منتصف الليل من يوم 31 ديسمبر وحكم الرومان العالم الغربى لمدة 5 ثوان، أى من الساعة 11:59:45 الى الساعة 11:59:50 من نفس اليوم، واكتشف كولومبو قارة أمريكا 3 ثوان قبل منتصف الليل وكانت ولادة علم الأرض على يد جيمس هاتون حوالى ثانية ونصف قبل نهاية هذه السنة المليئة بالأحداث.

وخلال القرن التاسع عشر وقبل اكتشاف التأريخ الاشعاعى، تم تطوير تقويم جيولوجى باستعمال مبدأ التأريخ النسبى. ويعنى التأريخ النسبى أن الأحداث توضع فى تتابع مناسب أو ترتيب دون معرفة عمرها المطلق



أ



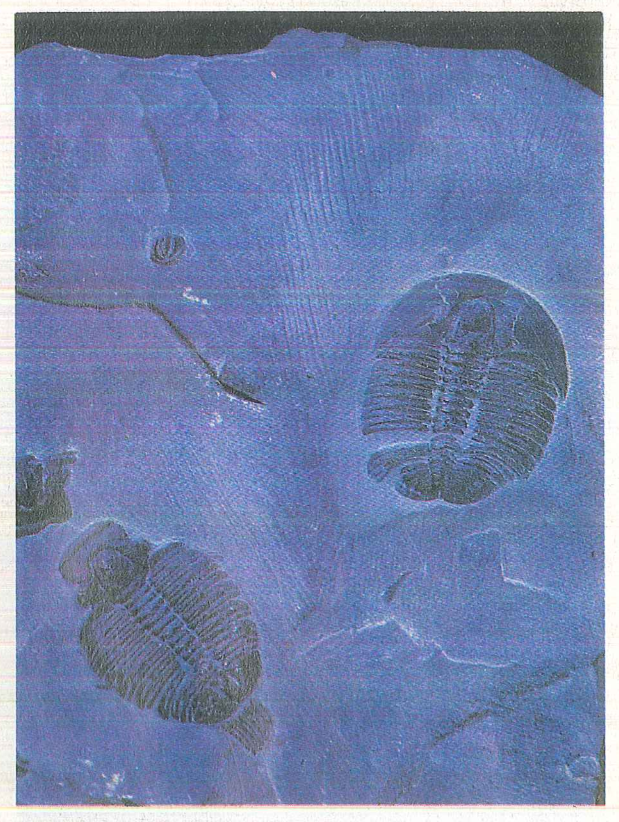
ب

شكل 1 ـ 4

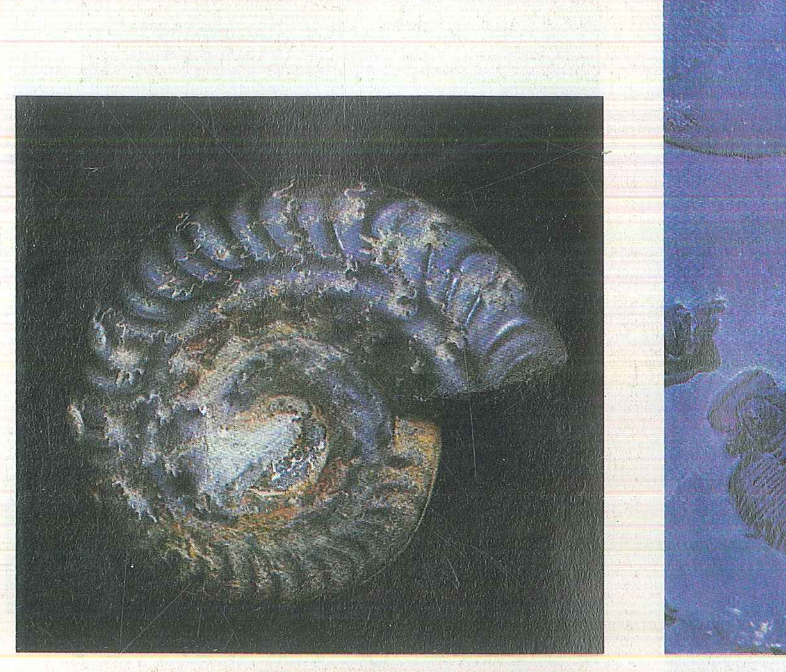
أ ـ بتطبيق قانون التتابع الطبقى، فانه يمكن تحديد العمر النسبى لهذه الطبقات التى لم يؤثر فيها الطىُّ.

ب ـ أمّا اذا تأثرت الطبقات بعمليات الطى والتشكل فإنه يصعب تحديد عمرها النسبى.

بالسنوات. ويمكن عمل ذلك بتطبيق مبادىء مثل: قانون التتابع الطبقى، والذى ينص على أنه فى أى تتابع سليم للصخور الرسوبية أو الطفوح البركانية، كل طبقة تعتبر أقدم من التى فوقها وأحدث من التى تحتها (شكل 1 ـ 4). ويبدو هذا التفكير اليوم بدائيا ولكنه لم يكن كذلك منذ 300 سنة حيث شكل قفزة نوعية فى التعليل العلمى بوضع أساس منطقى للقياس النسبى للزمن. وحيث أنه لا يمكن تحديد معدلات للترسيب لمعظم الطبقات الصخرية فان



أ



ب

شكل 1 ـ 5

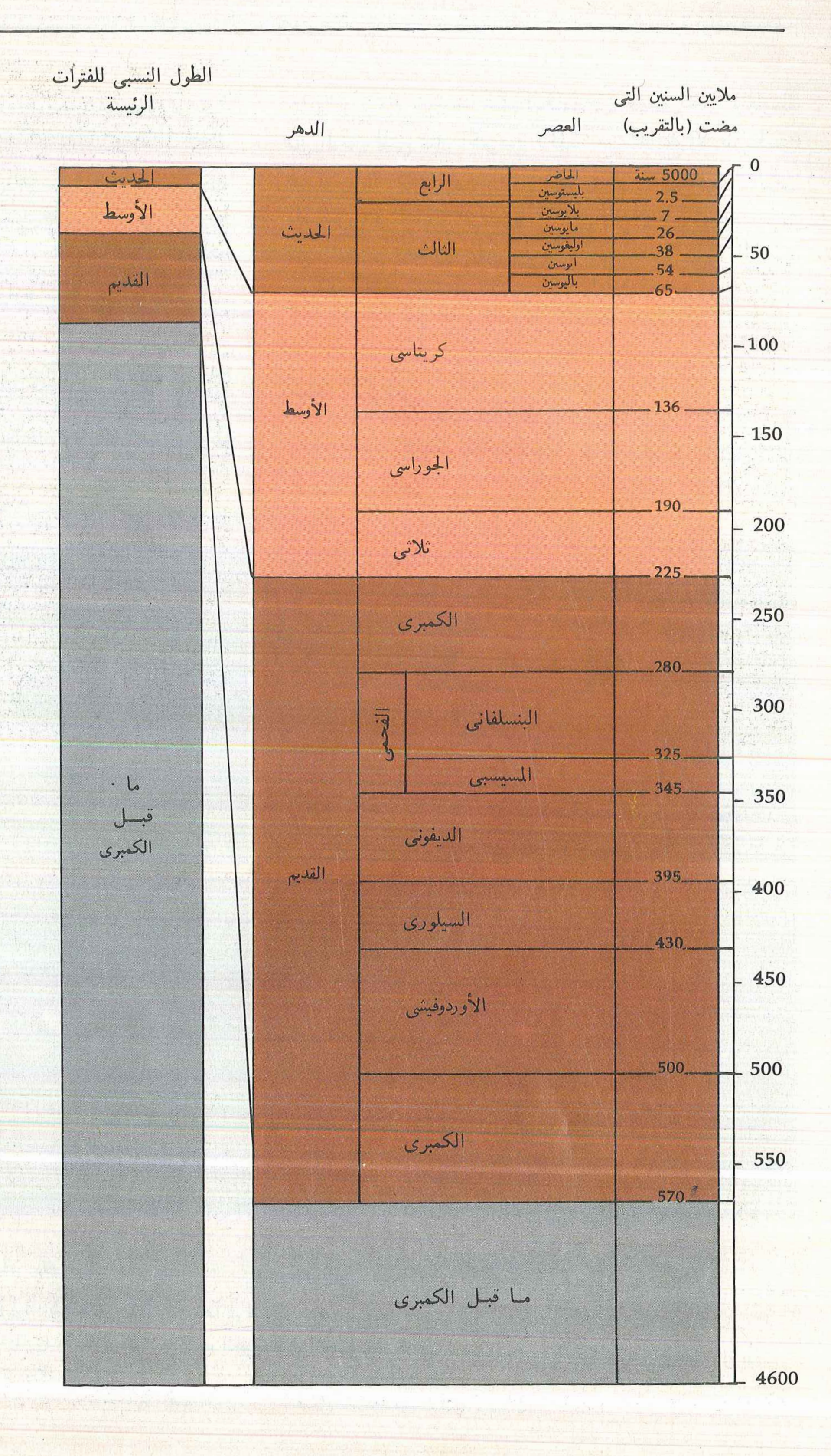
تعتبر المستحاثات أدوات هامة للجيولوجي، فبالاضافة الى اهميتها فى تحديد العمر النسبى للصخور، هى أيضا نافعة فى تحديد نوع البيئة القديمة.

أ ـ مستحاثة ثلاثى الفصوص فى حجر طينى. ب ـ مستحاثة لأحد رأسيات الأرجل الحلزونية.

الطول الحقيقى لأى فترة زمنية تمثلها طبقة معينة، لم يكن معروفا.

والمستحاثات التى هى بقايا أو آثار حياة ما قبل التاريخ، كانت هى الأخرى ضرورية لتطوير التقويم الجيولوجى (شكل 1ـ5). وهناك أيضا مبدأ أساسى فى هذا الخصوص تم ارساؤه بمشقة كبيرة عبر سنين عديدة، وذلك بتجميع المستحاثات من عدة طبقات من الصخور فى أماكن متفرقة، وهذا المبدأ يعرف **بمبدأ تتابع الأحياء**. وينص على أن مستحاثات الكائنات يعقب أحدها الآخر بترتيب محدد ومعلوم. ولهذا فإن كل فترة زمنية تتميز بمحتواها الاحاثى. وبعد تأسيس هذا المبدأ أمكن للجيولوجيين تحديد الصخور ذات العمر الواحد فى أماكن متفرقة وأمكن بناء التقويم الجيولوجى كما يظهر فى شكل (1ـ6).

وبفحصك للتقويم الجيولوجى ترى أن أكبر التقسيمات تسمى دهورا . هناك ثلاثة دهور معروفة، هى: **دهر الحياة القديمة** ، **ودهر الحياة المتوسطة** ، **ودهر الحياة الحديثة** . وكما تدل هذه التسميات، فان الدهور تفصل بينها اختلافات عالمية كبيرة فى أشكال الحياة. وينقسم كل دهر الى وحدات زمنية تسمى **أحينة** . هناك سبعة أحينة فى الدهر القديم وثلاثة فى الدهر المتوسط واثنان فى الدهر الحديث. وحيث أننا نعيش الآن فى الدهر الحديث فانه سوف يكون هناك أحينة أخرى قادمة. ويتميز كل حين بتفاوت أقل حدة فى أشكال



شكل 1 ـ 6

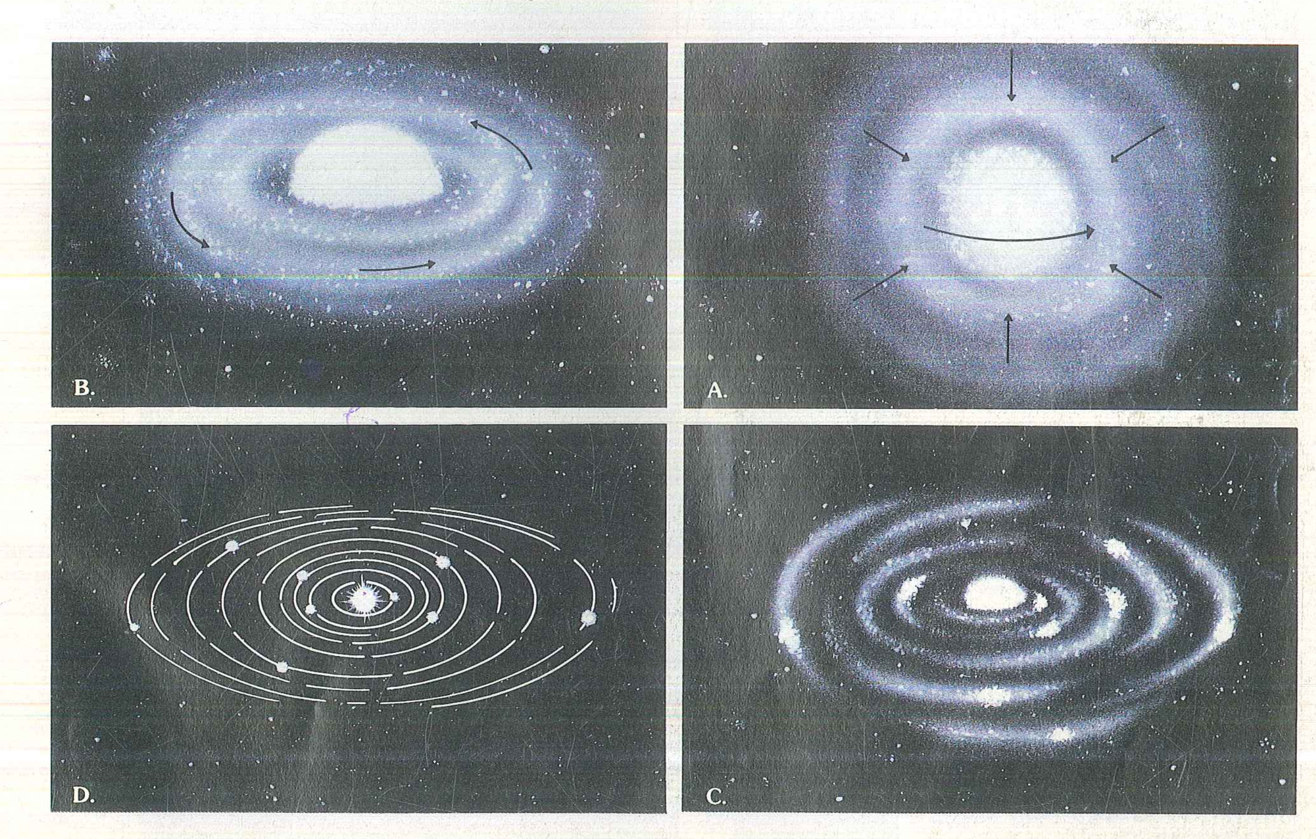
التقويم الجيولوجى، اضيفت الأرقام الدالة على الزمن المطلق حديثا وذلك بعد وقت طويل من تأسيس التقويم الجيولوجى باستخدام وسائل التأريخ النسبى. ويغطى ما قبل الكمبرى اكثر من 85% من الزمن الجيولوجى.

الحياة التى تميزه اذا ما قيس بالتفاوت بين الدهور. وأخيرا، ينقسم كل واحد من الأحينة الاثنى عشر الى وحدات أصغر تسمى عصورا . هذا وباستثناء العصور السبعة التى توجد لها أسماء فى حقبى الدهر الحديث، فان العصور التابعة للأحقاب الأخرى لم تعط لها أسماء محددة حيث اصطلح على استعمال كلمات الباكر والمتوسط والمتأخر للتفريق بين هذه الوحدات الزمنية القصيرة.

ويلاحظ أنه لم يبدأ التفصيل فى الزمن الجيولوجى الا منذ حوالى 600 مليون سنة، وهى بداية الحين الأول من الدهر القديم الذى هو حين الكامبرى. أما الفترة الزمنية التى تزيد عن 4 بليون سنة وتسبق حين الكامبرى فيطلق عليها ببساطة حين ما قبل الكامبرى. فهذه الفترة الطويلة من الزمن التى تمثل أكثر من 85 % من تاريخ الأرض ليس لها تقسيمات كثيرة لوحدات أصغر. ويعتبر السجل الاحاثى الضئيل هو السبب الرئيسى لانعدام التفاصيل فى هذا الجزء من التقويم. فبدون وفرة المستحاثات يفقد علماء الأرض وسيلتهم الرئيسة لبناء التقويم الجيولوجى.

نشأة الأرض

تشكل الأرض واحدة من تسعة كواكب تدور حول الشمس مع عشرات من الأقمار وعدد كبير من الأجرام



شكل 1 ـ 7

الافتراض السديمى: (أ) ـ سحابة ضخمة من الغبار الكونى والغازات تبدأ فى التقلص. (ب) ـ تتخذ شكل قرص مفلطح بسبب حركة دورانها حول نفسها. (جـ) ـ تبدأ بعد ذلك الكواكب فى التجمع على امتداد القرص بينما تنجذب معظم المادة نحو المركز لتكوين الشمس. (د) ـ وبمرور الزمن يتم تجمع بقية المواد فى الكواكب التسعة وفى أقمارها.

الصغيرة الأخرى. ولقد حمل الترتيب الطبيعى البديع لنظامنا الشمسى معظم الفلكيين على الاعتقاد بأن جميع الأجرام المكونة لهذا النظام قد نشأت فى آن واحد من مادة أزلية واحدة. وتقترح هذه النظرية التى تعرف بالافتراض السديمى بأن الأجرام التابعة لنظامنا الشمسى قد نشأت من سحابة ضخمة مكونة فى معظمها من عنصرى الهيدروجين والهيليوم مع نسب ضئيلة فقط من العناصر الأخرى.

فمنذ خمسة بلايين سنة، ولأسباب غير معلومة تماما، بدأت هذه السحابة الكونية المكونة من القطع الصخرية والغازات تتقلص تحت تأثير جاذبيتها الداخلية (شكل 1 ـ 7). وقد كانت هذه المواد المتقلصة تمتلك مركّبة حركة دوران محورى، حيث تزداد حركة دورانها كلما زاد تقلصها. وقد نتج عن هذا الدوران أن اتخذت هذه السحابة السديمية شكل قرص مفلطح. تكونت تقلّصات فقاعية صغيرة نوعا خلال القرص الدائر وكانت بمثابة النوىّ التى تطورت عنها الكواكب. وقد أدى انجذاب الجزء الأكبر من المادة لمركز هذه الكتلة الدائرة وتولّد طاقة حرارية من قوة الجذب، الى نشأة الشمس البدائية.

تلا تكوّن الشمس البدائية بوقت قصير، انخفاض ملحوظ فى درجات الحرارة داخل القرص الدوّار. وقد أدّى هذا الانخفاض الحرارى الى تكثّف كثير من المواد ذات درجات الانصهار المرتفعة، فتكثفت الى جزئيات صغيرة ربما كانت فى حجم حبيبات الرمل، وتصلبت المواد المكونة من الحديد والنيكل أولا، ثم تلا ذلك تصلب العناصر المكونة للمواد الصخرية. وباصطدام هذه القطع تجمعت فى شكل أجسام أكبر حتى وصلت خلال عدة ملايين من السنين الى أحجام الكواكب. وبنفس الطريقة وبمقياس أقل، استمرت عمليات التكثيف والتجمع اللازمة لبناء الأقمار والأجرام الصغيرة الأخرى التى تكوِّن المجموعة الشمسية.

بعد أن تجمعت فى الكواكب الناشئة مواد أكثر فأكثر، بدأ النظام الشمسى يأخذ شكله النهائى. ولقد سمحت ازالة المواد المتطايرة لضوء الشمس بتسخين أسطح الكواكب حديثة التكوّن. وقد ساهم ارتفاع درجات الحرارة على الكواكب الداخلية مع مجالات الجاذبية الضعيفة لهذه الكواكب فى عدم قدرة الأرض والكواكب المجاورة لها، وهى (عطارد والزهرة والمريخ) على الاحتفاظ بكميات كبيرة من المكونات الخفيفة التى كانت فى السحابة الكونية. وقد تبخرت هذه المواد وهى الهيدروجين والهيليوم والأمونيا والميثين والماء من أسطح الكواكب الداخلية للنظام الشمسى وشفطت نهائيا بواسطة الرياح الشمسية. وعلى مسافات أبعد من المريخ، تنخفض درجات الحرارة وتتراكم فى الكواكب الخارجية، وهى المشترى وزحل ويورينوس ونبتون، كميات ضخمة من الهيدروجين والمواد الخفيفة الأخرى المستمدة من السحابة الكونية. ومن المعتقد بأن تراكم هذه المواد الغازية هو الذى يفسر الأحجام الكبيرة نوعا والكثافة الصغيرة التى تتصف بها الكواكب الخارجية.

وبعد تكوّن الأرض بوقت قصير، ساهم الانشطار الذرى للعناصر المشعة مع الحرارة المنبعثة من تصادم الأجسام، فى احداث انصهار جزئى فى داخل الأرض. ويعتقد بأن هذا الانصهار قد أدى الى غوص العناصر الثقيلة وهى الحديد والنيكل بصورة رئيسة بينما طفت المكونات الصخرية الخفيفة الى أعلى. ويعتقد أن هذا التمايز فى المواد الذى بدأ مبكرا فى تاريخ الأرض، لا يزال يحدث حتى الآن ولكن بمعدلات أقل. ونتيجة لهذا التفاضل الكيميائى فان التركيب الداخلى للأرض ليس متجانسا. وبدلا من ذلك فان الأرض تتكون من قشور أو أغلفة بها مواد ذات خواص مختلفة. وتشمل التقسيمات الأساسية للأرض:

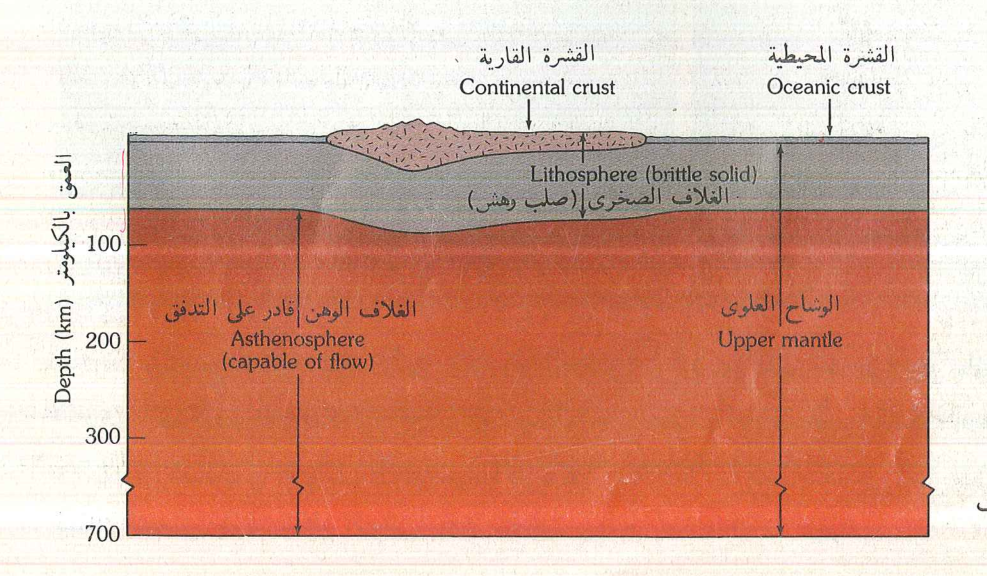
1 ـ **اللب الداخلى:** وهو نطاق صلب غنى بالحديد يبلغ نصف قطره 1216 كيلومترا.

2 ـ **اللب الخارجى:** وهو طبقة فلزية منصهرة يبلغ سمكها 2270 كيلومترا.

القشرة 5 إلى 40 كم
Crust 5–40 km
الوشاح
Mantle
اللب الخارجي
Outer core
اللب الداخلي
Inner core
2885 km كم
2270 km كم
1216 km كم

شكل 1 ـ 8

رسم للتركيب النطاقي للأرض. مُثِّل كل من اللب الداخلي واللب الخارجي والوشاح بمقياس رسم واحد. بينما رسمت القشرة الأرضية بمبالغة تقدر بثلاثة أضعاف.



شكل 1 ـ 9

موقع الغلاف الوهن من الغلاف الصخري.

3 ـ الوشاح: وهو طبقة صخرية صلبة يبلغ أقصى سمك لها 2885 كيلومترا.

4 ـ القشرة: وهو غشاء خارجي خفيف يتراوح سمكه بين 5 و 40 كيلومترا. (شكل 1 ـ 8).

هناك نطاق مهم يقع ضمن الوشاح يستحق الاهتمام، وهو ما يسمى بالغلاف الوهن الذى يقع بين عمق 100 الى 700 كيلومتر. وهذا الغلاف الوهن هو عبارة عن نطاق ساخن ضعيف قادر على التدفق التدريجي. والنطاق الذى يقع فوق الغلاف الوهن هو الغلاف الصخرى الذى يشمل القشرة والجزء العلوى من الوشاح (شكل 1 ـ 9). وبخلاف الغلاف الوهن، فانه يمكن اعتبار الغلاف الصخرى الذى يعلوه باردا وصلبا.

والنتيجة المهمة المترتبة على فترة التفاضل الكيميائى، هى أن المواد الغازية قد تسربت من داخل الأرض كما يحدث اليوم أثناء فوران البراكين. وبهذه الطريقة تم تكوّن الغلاف الجوى فى غالبيته من الغازات المطرودة من داخل الكوكب. وبفضل الغلاف الجوى أمكن للحياة كما نعرفها أن تخرج الى حيز الوجود.

نظرة الى الأرض

يبين الشكل (1 ـ 10) منظرا للأرض كما بدت لرواد سفينة الفضاء أبوللو 8 ، عندما ظهرت من وراء القمر بعد أن دارت حوله لأول مرة فى شهر ديسمبر من عام 1968. فقد زود منظر كهذا، من مسافة 160,000 كم روّاد الفضاء، كما زودنا نحن الباقين على الأرض بمنظر فريد لكوكبنا. حيث تمكنا لأول مرة أن نرى الأرض من أعماق الفضاء ككرة صغيرة لطيفة المنظر يحيط بها ظلام الكون اللامحدود. لم تكن مثل هذه المناظر هائلة وخلابة فحسب، بل كانت تبعث على الضعف لما أوحته لنا من شعور بمدى صغر الحيز الذى يشغله كوكبنا من هذا الكون.

وكلما دققنا النظر فى كوكبنا من الفضاء (انظر الصورة الافتتاحية) يتضح لنا ان الأرض ليست صخورا وتربة فحسب. وفى الحقيقة، الملامح الملفتة للنظر ليست القارات ولكنها دوامات السحب المعلقة فوق السطح وكذلك امتداد المحيطات. ومن هذا المنطلق فان باستطاعتنا فهم الأسباب التى من أجلها تقسم البيئة الطبيعية الى ثلاثة أجزاء هى غلاف الهواء المسمى بالغلاف الجوى، والغلاف المائى أو الجزء المغطى بالمياه، والأرض الصلبة أو الغلاف الصخرى. وكوكبنا هو دائم الحركة لا تتحكم فيه هذه الأجزاء من صخر وماء وهواء كل على حدة بل التحكم يأتى من إستمرار تأثر الهواء بالصخور والصخور بالماء والماء بالهواء.

الغلاف الجوى ـ ذلك الغطاء الذى يكتنف الحياة على الأرض ـ يصل سمكه مئات الكيلومترات، ويعد جزءا لا يتجزأ من هذا الكوكب. وهو لا يوفر فقط الهواء الذى نستنشق بل يعمل أيضا على حمايتنا من حرارة الشمس المحرقة ومن اشعاعاتها الخطرة. وعمليات تبادل الطاقة التى تحدث باستمرار بين الغلاف الجوى وسطح الأرض وبين الغلاف الجوى والفضاء الخارجي هى التى ينتج عنها تغيّرات نسميها عادة بالطقس والمناخ.

والغلاف المائى هو عبارة عن كتلة دائمة الحركة تنتقل باستمرار من المحيطات الى الهواء ومنه الى اليابسة ثم تعود مرة أخرى الى المحيطات. ويعتبر امتداد المحيطات من المظاهر الهامة للغلاف المائى، اذ يغطى 71 % من سطح الأرض ويحتوى على 97 % من المياه الموجودة فوقها. يشمل الغلاف المائى كذلك المياه العذبة الموجودة فى الأنهار والبحيرات والكتل الجليدية الى جانب المياه الجوفية، ورغم أن هذه الأنواع المذكورة أخيرا تشكل نسبة ضئيلة من المياه الكلية الا أن لها أهمية تفوق بكثير ما توحى به نسبتها المئوية لأنها هى المسئولة على نحت وتكوين كثير من الأشكال السطحية المختلفة لكوكبنا.

وتقع تحت الغلاف الجوى ومياه المحيطات الأرض الصلبة (شكل 1 ـ 11). وتقتصر دراستها على الملامح



شكل 1 ـ 10
منظر الأرض كما شاهده رواد الفضاء فى ابوللو 8 عندما لاحت مركبتهم من وراء القمر.

السطحية التى فى متناولنا. ولحسن الحظ، فان هذه الملامح الظاهرة تمثل الجانب البارز للنشاط المستمر للمواد الجوفية. وبفحص الملامح السطحية الكبيرة وامتدادها عبر الكرة الأرضية، نستطيع أن نحصل على أدلة للعمليات الدائبة الحركة التى تشكل كوكبنا.

والتقسيمين الأساسيين لسطح الأرض هما القارات والمحيطات. ومن الغريب أن الشواطىء الحالية ليست هى الخط الفاصل بين هاتين المنطقتين المتباينتين. بل يوجد على امتداد معظم الشواطىء مسطبة من المواد القارية قليلة الانحدار تسمى « بالرف القارى » وتمتد من الشاطىء فى اتجاه البحر. وقد اختلف اتساع الرف القارى من زمن لآخر. فمثلا، خلال الزمن الجليدى الأخير، عندما كانت كمية كبيرة من مياه العالم مخزنة فوق اليابسة على شكل كتل جليدية، كان مستوى سطح البحر منخفضا بمقدار 150 مترا عما هو عليه الآن. وبذلك أصبحت اليابسة تشكل مساحة أكبر من سطح الأرض. ويعد أحسن مكان للخط

الفاصل بين القارات وأحواض المحيطات هو فى منتصف المنحدر القارى الذى يشكل هوة شديدة الانحدار تبدأ من طرف الرف القارى فى اتجاه الأحواض العميقة للمحيطات. وباستعمال هذا الخط الفاصل نجد أن 60 فى المئة من سطح الأرض تغطيه الأحواض المحيطية بينما يغطى الجزء الباقى، وهو 40 فى المئة، الكتل القارية.

والفرق الأكثر وضوحا بين القارات والأحواض المحيطية هو مستواها النسبى. ويبلغ متوسط ارتفاع القارات فوق مستوى سطح البحر حوالى 840 مترا بينما يبلغ متوسط عمق المحيطات حوالى 3800 مترا. ولهذا فان القارات ترتفع فى المتوسط 4,6 كيلومترا فوق مستوى قاع المحيط. ويعزى ارتفاع القشرة القارية الى حد كبير لكثافتها. اذ تتكون الكتل القارية من مواد تشبه فى خواصها الجرانيت، وهو صخر شائع تبلغ كثافته حوالى 2.7 ضعفا لكثافة الماء. بينما يسود الاعتقاد بأن لقشرة الكتل المحيطية تركيب لا يكفى لتفسير المواقع المرتفعة للقارات، ولكن المواد الصخرية التى تقع على عمق 100 كيلومتر هى ضعيفة بطبيعتها ويمكنها التدفق، ولهذا يمكن اعتبار الطبقة الخارجية الصلبة للأرض على أنها تطفو فوق الطبقة الضعيفة مثلما يطفو مكعب الثلج فوق الماء. وتصل الكتل القارية المكونة من قطع سميكة لصخور أقل كثافة فى طفوها الى مواقع أعلى من المواد المحيطية الأقل سمكا والأكبر كثافة.

فى هاتين المنطقتين المتباينتين يوجد تفاوت كبير فى الارتفاع. وتعد الأحزمة الجبلية الطولية من أبرز ملامح القارات (شكل 1 ـ 11). ورغم أن توزيع الجبال يبدو عشوائيا لأول وهلة، الا أن ذلك ليس صحيحا. فاذا تناولنا المناطق الجبلية الحديثة فاننا نجد أنها تقع فى نطاقين هما: الحزام الملتف حول المحيط الهادى الذى يشتمل على جبال غرب القارتين الأمريكيتين ويمتد حتى غرب المحيط الهادى فى شكل أقواس من الجزر البركانية. وتعد أقواس الجزر هذه مناطق جبلية نشطة مكونة فى معظمها من صخور بركانية مشكّلة. ومن بين هذه الجزر: الجزر الأليوتشية واليابان والفلبين وغينيا الجديدة. أما الحزام الجبلى الآخر فيمتد من جبال الألب عبر ايران وجبال الهيمالايا ثم يتجه جنوبا الى اندونيسيا. وبالتدقيق فى هذه الأراضى الجبلية يتضح أن غالبيتها أماكن حشرت فيها تجمعات صخرية سميكة ثم شكلت بشدة كما لو كانت قد وضعت بين فكى كماشة ضخمة.

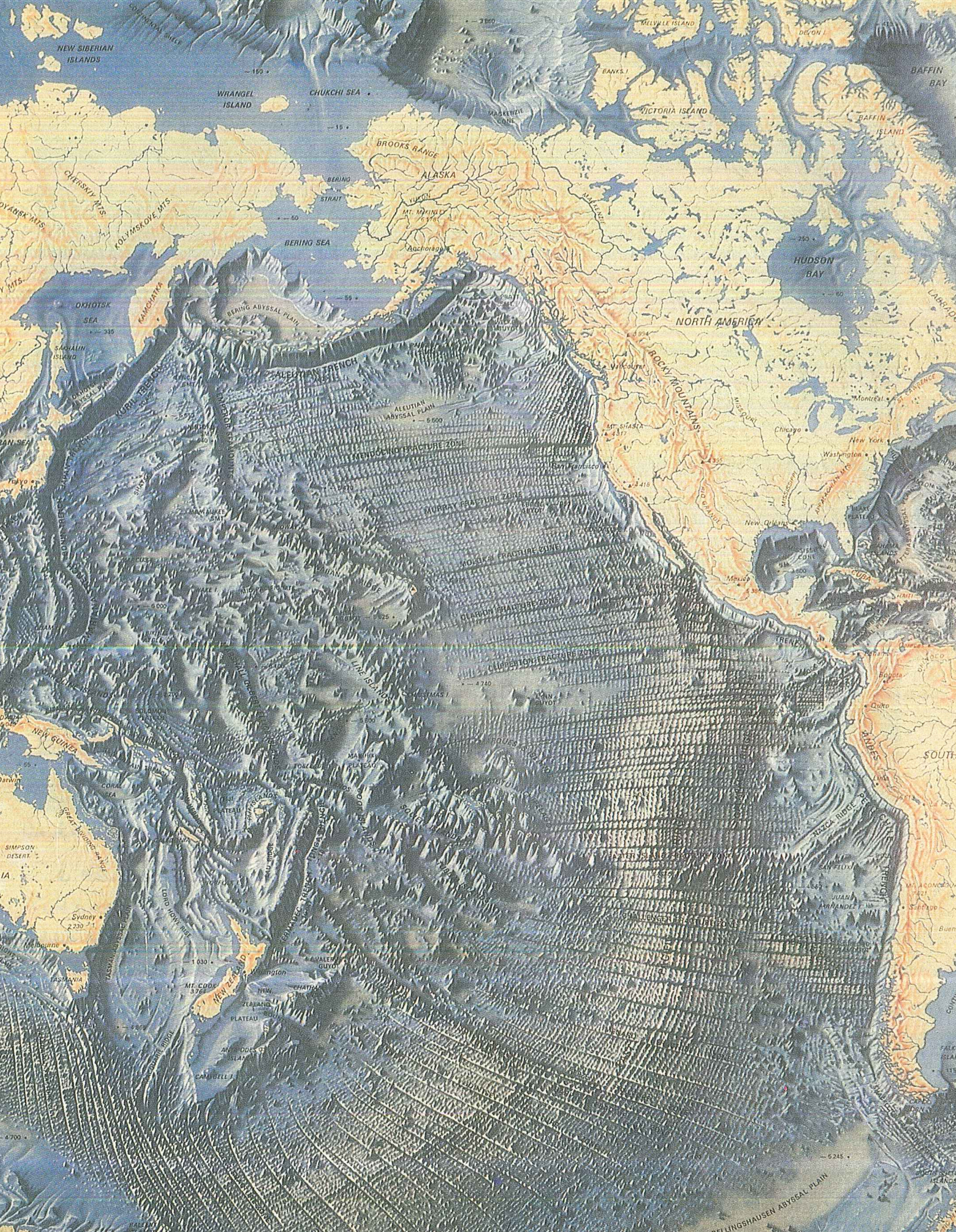
وتوجد الجبال القديمة أيضا فوق القارات. ومن الأمثلة على ذلك جبال الأبالاش شرقى الولايات المتحدة الأمريكية وجبال الأورال بالاتحاد السوفييتى، وقد تآكلت قممها التى كانت شامخة نتيجة لملايين السنين من التعرية المستمرة. أما المناطق الأقدم من هذه الجبال فتوجد فى الأجزاء الداخلية المستقرة للقارات. فى هذه المناطق الداخلية المستقرة توجد مناطق تعرف بالدروع، وهى امتدادات شاسعة، منبسطة نوعا ومكونة غالبا من مواد صخرية بلّورية. وقد اتضح من التحديد الاشعاعى لعمر الدروع أنها حقا مناطق قديمة، حيث تزيد أعمار البعض منها عن 3.8 بليون سنة. وتقيم هذه الصخور القديمة الدليل على أن هناك قوى جبارة عملت على طيها ثم تشكيلها.

ومنذ سنوات قليلة كان يسود الاعتقاد بأن أحواض المحيطات هى عبارة عن مناطق عديمة التضاريس ولا يوجد بها سوى عدد قليل من البراكين الصاعدة من الأعماق. لكن هذه النظرة لقاع المحيط ليس لها أى اساس من الصحة. وفى الحقيقة، تعرف أحواض المحيطات اليوم بأنها تحتوى على أضخم سلسلة جبلية على الأرض، وهى نظام **مرتفعات وسط المحيطات** (شكل 1 ـ 11). ويكوّن هذا الهيكل العريض حزاما مستمرا يمتد لمسافة 65000 كيلومتر حول الكرة الأرضية بطريقة تشبه درازة كرة المضرب. وبدلا من تكوّن مرتفعات وسط المحيط من صخور شديدة التشكّل

←

شكل 1 ـ 11

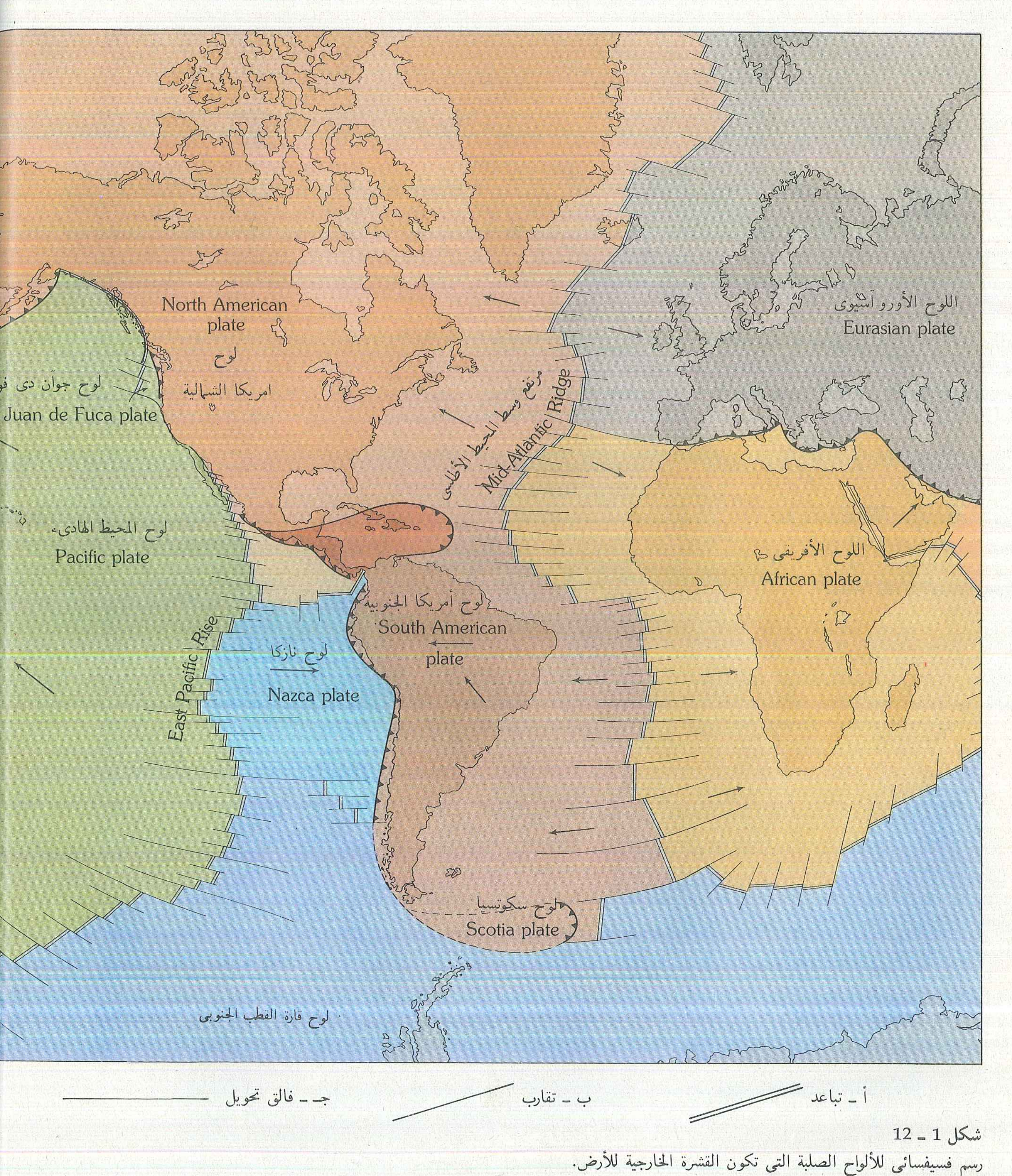
تضاريس السطح الصلب للأرض تظهر فوق الصفحتين التاليتين.



NEW SIBERIAN ISLANDS
WRANGEL ISLAND
CHUKCHI SEA
MELVILLE ISLAND
BANKS I.
BAFFIN BAY
VICTORIA ISLAND
BAFFIN ISLAND
BROOKS RANGE
ALASKA
BERING STRAIT
CHERSKIY MTS.
KOLYMSKOYE MTS.
BERING SEA
Anchorage
HUDSON BAY
OKHOTSK SEA
KAMCHATKA
BERING ABYSSAL PLAIN
NORTH AMERICA
ROCKY MOUNTAINS
Vancouver
Montreal
Chicago
New York
Washington
ALEUTIAN TRENCH
ALEUTIAN ABYSSAL PLAIN
MENDOCINO FRACTURE ZONE
San Francisco
MURRAY FRACTURE ZONE
New Orleans
Mexico
CUBA
HAITI
CLARION FRACTURE ZONE
CLIPPERTON FRACTURE ZONE
LINE ISLANDS
Bogota
Quito
ANDES
NEW GUINEA
NAZCA RIDGE
SIMPSON DESERT
Sydney
NEW ZEALAND
MT. COOK
BELLINGSHAUSEN ABYSSAL PLAIN



GREENLAND
BARENTS SEA
KARA SEA
NOVAYA ZEMLYA
TAYMYR
PENINSULA
Murmansk
ICELAND
Reykjavik
MONT FOREL
SIBERIAN
PLATEAU
URAL MOUNTAINS
FAEROE
ISLANDS
ROCKALL
BANK
Oslo
Stockholm
Helsinki
Leningrad
NORTH
SEA
Glasgow
Copenhagen
Moscow
A S I A
Dublin
London
Amsterdam
Berlin
Warsaw
EUROPA
GIBBS FRACTURE ZONE
PORCUPINE
BANK
Paris
Vienna
VOLGA
FLEMISH
CAP
Bern
ALPS
CARPATHIAN MTS.
LAKE
BALKHASH
Ulan Bator
PYRENEES
Madrid
Rome
CAUCASUS
Tashkent
TIEN SHAN MTS.
Lisbon
Ankara
KARA KOUM
TAKLA MAKAN DESERT
Tunis
Téhéran
HINDU KUSH
TIBET PLATEAU
Rabat
ATLAS MOUNTAINS
Tripoli
Jérusalem
Bagdad
CANARY
ISLANDS
Cairo
New Delhi
HIMALAYAS
S A H A R A
ARABIA
Rhyad
Karachi
THAR
DESERT
GANGES
Dacca
AHAGAR
TIBESTI
NILE
Bombay
Hanoi
CAPE VERDE
ISLANDS
Khartoum
Aden
INDUS
CONE
GANGES
CONE
Rangoon
Bangkok
Dakar
Niamey
LAKE
CHAD
N'Djamena
Addis Ababa
INDIA
PLAIN
ANDAMAN
ISLANDS
Saigon
AFRICA
CEYLON
Abidjan
Accra
Lagos
MT. CAMEROON
Douala
Singapore
SUMATRA
ROMANCHE FRACTURE ZONE
CONGO
LAKE
VICTORIA
Nairobi
JAVA TRENCH
Kinshasa
SEYCHELLES
CONGO
CONE
ASCENSION
Luanda
COMORO
Brasilia
Lusaka
Salisbury
ZAMBEZI
MADAGASCAR
MAURITIUS
LA RÉUNION
WALFISCH RIDGE
ANGOLA ABYSSAL PLAIN
KALAHARI
DESERT
Pretoria
ORANGE
DRAKENSBERG
Cape Town
ARGENTINE
RISE
CROZET
ISLANDS
KERGUELEN
ISLANDS
KERGUELEN
PLATEAU
LENA
GUYOT
HEARD
FALKLAND PLATEAU
ENDERBY
ABYSSAL
PLAIN

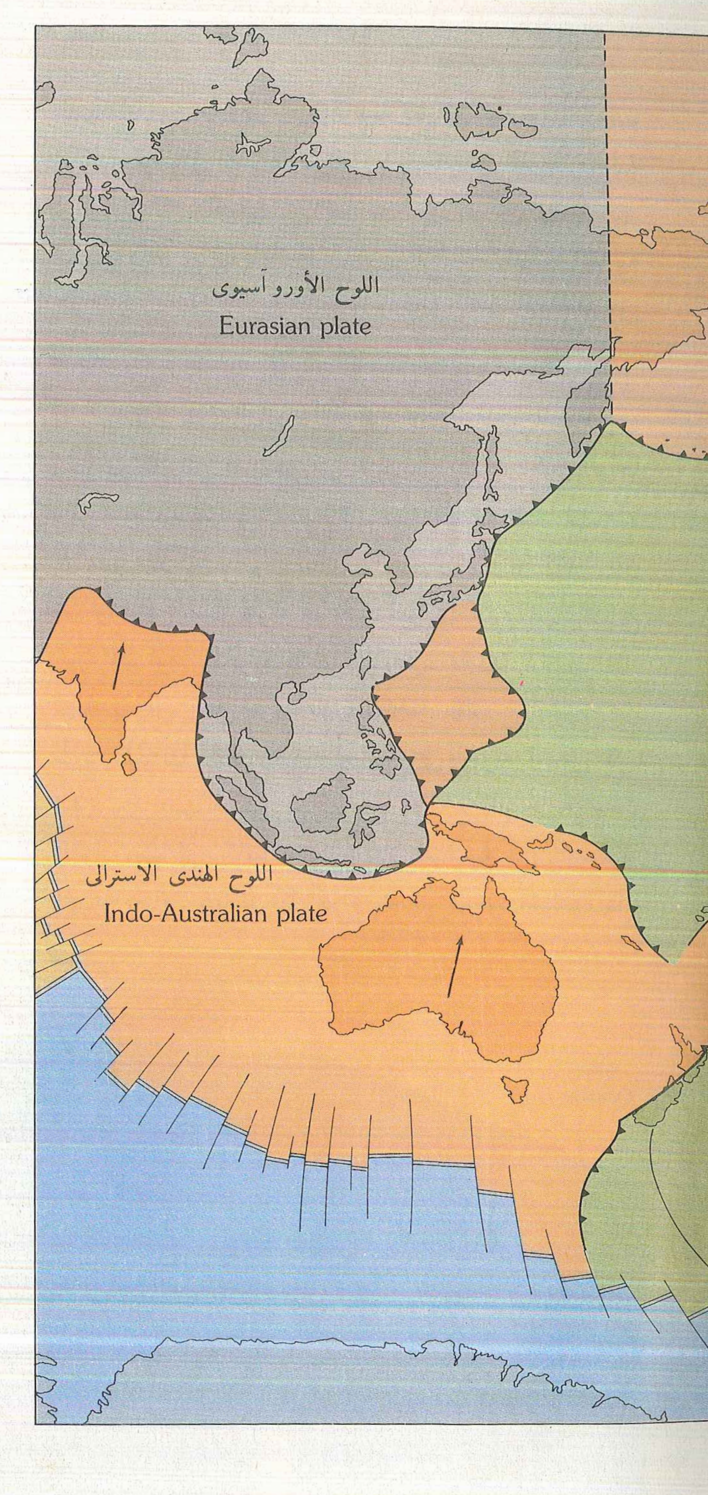


أ ـ تباعد　　ب ـ تقارب　　جـ ـ فالق تحويل

شكل 1 ـ 12

رسم فسيفسائى للألواح الصلبة التى تكون القشرة الخارجية للأرض.

(أ) ـ يمثل الأطراف المتباعدة. (ب) ـ يمثل الأطراف المتقاربة. (جـ) ـ يمثل حدود فوالق التحويل.



كما هو الحال بالنسبة للجبال الموجودة فوق القارات، فان هذه المرتفعات تتكون من طبقات متتابعة من صخور كانت يوما ما منصهرة ثم تشققت ورفعت.

ويحتوى قاع المحيط أيضا على أخاديد بالغة العمق كثيرا ما يصل عمقها الى 11.000 متر. ورغم ضيق هذه الأخاديد المحيطية العميقة، ورغم أنها لا تشكل رقعة كبيرة من قاع المحيطات، الا أنها تعد من الملامح عظيمة الأهمية. وتقع الأخاديد عادة بمحاذاة الجبال الحديثة التى تحيط بالقارات، مثل جبال الأنديز فى غرب أمريكا الجنوبية، أو بمحاذاة أقواس الجزر البركانية.

والأسئلة الآن، والتى تفرض نفسها، هى: ما هى الصلة، ان وجدت، بين أحزمة الجبال الحديثة النشطة وبين الأخاديد المحيطية؟.. ما هى أهمية نظام المرتفعات الضخمة التى تمتد عبر جميع محيطات العالم؟.. وما هى القوى التى تطال الصخور فتجعل منها مرتفعات جبلية شاهقة؟.. كل هذه الأسئلة لا بد من الاجابة عليها عند محاولتنا للكشف عن العمليات الدائبة التى تشكل كوكبنا هذا.

الأرض دائبة الحركة

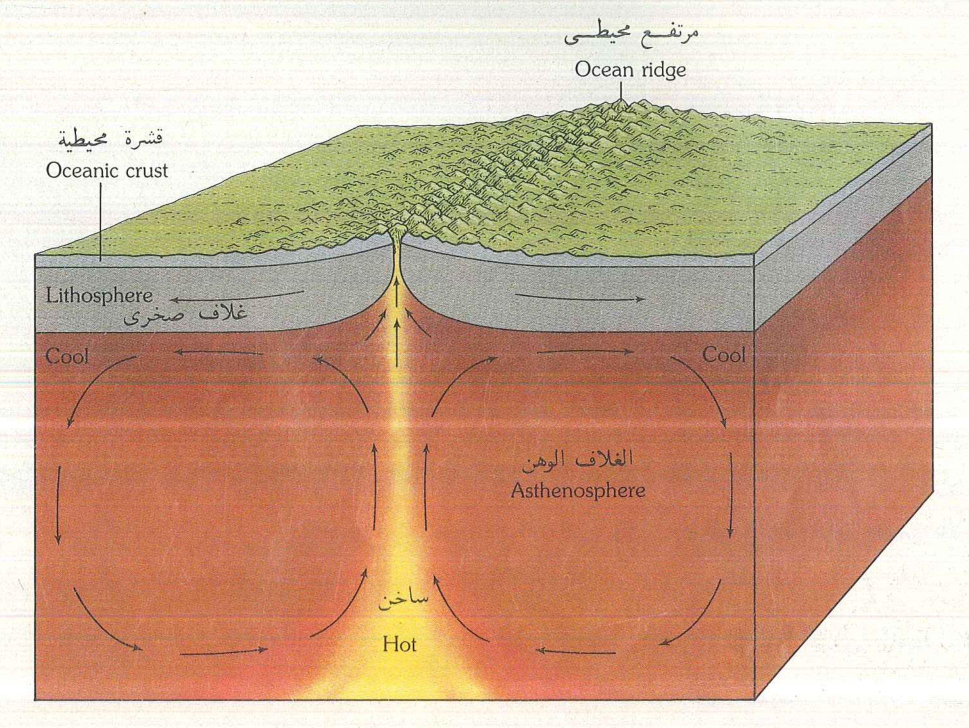
الأرض هى عبارة عن كوكب دائم الحركة. فلو استطعنا أن نعود بليون سنة الى الوراء أو أكثر لوجدنا أن سطح الأرض مختلف تماما عما هو عليه اليوم، ولوجدنا أنه كان للقارات أشكالا مختلفة أو أنها تقع فى مواقع مختلفة عما هى عليه الآن. ولكن على العكس من ذلك تماما فان سطح القمر لم يكن يختلف كثيرا منذ بليون سنة عما هو عليه اليوم. وفى الحقيقة، لو نظرنا اليه بالمقربات لوجدنا أن عددا قليلا من الفوهات البركانية لم يكن موجودا عليه فى ذلك الوقت. وعليه اذا ما قارنا القمر بالأرض نجد أنه جسم ميّت يسبح عبر الفضاء.

ويمكن تقسيم العمليات التى تغيّر من سطح الأرض الى صنفين: العمليات التى تهدم سطح الأرض باستمرار

وتشمل التجوية والتعرية. وخلافا لما يحدث فى القمر، حيث تسير عمليات التجوية والتعرية ببطء شديد، فان هذه العمليات تغيّر باستمرار من المعالم السطحية للأرض. وعمليات الهدم هذه لا بد أنها قد أدت الى تشكّل القارات نهائيا لولا وجود عمليات أخرى بنّاءة مضادة لها. وهذه العمليات هى عمليات النشاط البركانى وبناء الجبال، والتى تعمل على زيادة رفع الأراضى فى اتجاه مضاد للجاذبية. وتعتمد هذه الظاهرة على الحرارة الداخلية للأرض كمصدر من مصادر الطاقة.

وخلال العقود القليلة الماضية أمكن معرفة الكثير عن طبيعة كوكبنا الدائب الحركة. فى الحقيقة يسمى الكثيرون هذه الفترة ثورة فى المعرفة المتعلقة بالأرض، ليس لها مثيل فى أى زمن. وقد بدأت هذه الثورة فى الجزء الأول من القرن العشرين باقتراح متطرف يقول: ان القارات انجرفت فى سبيلها على سطح الأرض. ولأن هذه الفكرة تتعارض مع الرأى السائد بأن القارات وأحواض المحيطات هى ملامح ثابتة ودائمة على سطح الأرض، فقد قوبلت بكثير من التشكيك. وقد مرّ أكثر من 50 سنة قبل ان تتجمع المعلومات الكافية لتحويل هذا الافتراض البسيط الى نظرية فاعلة تربط بين كل العمليات الأساسية التى تشكل أرضنا. لقد تمخض ذلك فى النهاية على تقديم النظرية الحركية الحديثة التى زودت الجيولوجيين بنموذج متكامل للتصرف الداخلى للأرض.

وحسب هذا النموذج الحركى فان الغلاف الصخرى الخارجى للأرض قد تفتق الى عدة قطع منفردة تكوّن **ألواحا** منفردة وصلبة (شكل 1 ـ 12). ومن المعتقد أيضا أن هذه الألواح الصلبة تتحرك ببطء وباستمرار. ويعتقد أيضا بأن المسئول عن هذه الحركة هو محرك حرارى ناتج عن التوزيع غير المتساوى للحرارة داخل الأرض. فعندما ترتفع المواد الساخنة الى أعلى من أعماق الأرض وتتوزع جانبيا عن طريق تيارات الحمل، تبدأ الصفائح فى الحركة (شكل 1 ـ 13). وفى النهاية، فان حركة هذه الألواح الصخرية تسبب زلازل ونشاطا بركانيا مشكلّة كتلا ضخمة من الصخور لتصير جبالا. وبما أن كل لوح يتحرك كوحدة مستقلة، فانه



شكل 1 ـ 13
يعتقد بأن التوزيع غير المتساوى للحرارة فى أعماق الأرض يولد تيارات حمل تحرك القشرة الخارجية للأرض.

يحدث اللقاء بين الألواح على امتداد أطرافها. وقد تم تحديد أطراف الألواح عن طريق رسم مواقع الزلازل والنشاط البركانى. وأخيرا أمكن التعرف على ثلاثة أنواع مختلفة من أطراف الألواح والتى يمكن تمييزها عن طريق الحركة التى تحدثها (شكل 1 ـ 14). وهذه هى:

1 ـ **الأطراف المتباعدة**: وهى مناطق تتباعد فيها الألواح عن بعضها تاركة ثغرة بينها.

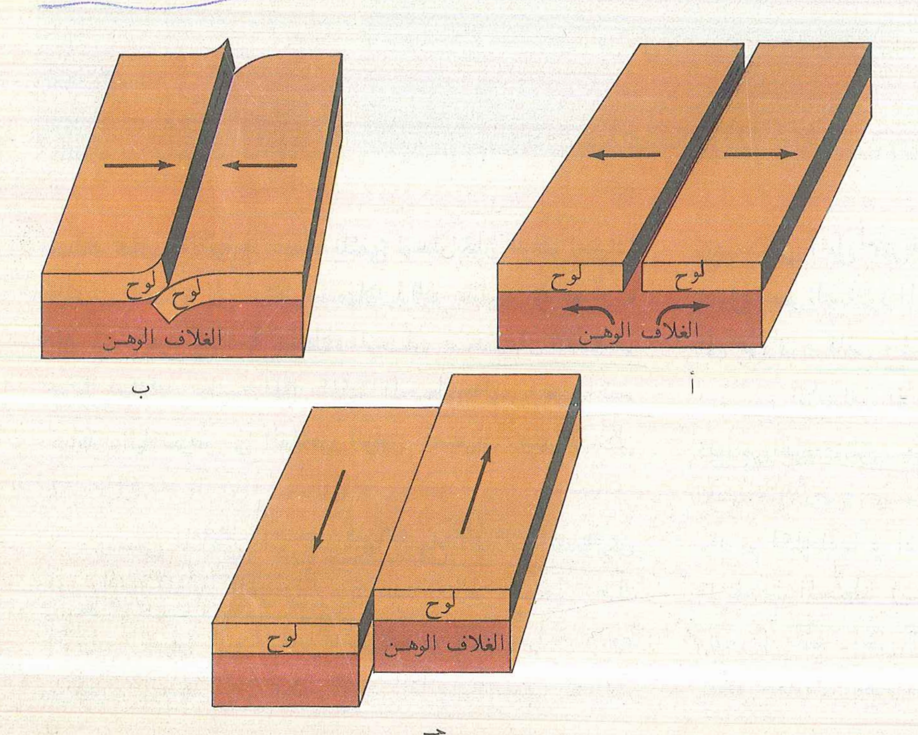
2 ـ **الأطراف المتقاربة**: وهى مناطق تتقارب فيها الألواح من بعضها مسببة فى انزلاق أحد اللوحين المتقاربين تحت الأخر، كما يحدث عندما يتعلق الأمر بالقشرة المحيطية أو عندما يصطدم لوحان من القشرة القارية.

3 ـ **أطراف فالق التحويل**: وهى مناطق ينزلق فيها لوحان جانبيا بحيث يشكل كل منهما الآخر.

كل لوح تحده مجموعة من هذه المناطق (شكل 1 ـ 12). وتتطلب أى حركة فى أحد الأطراف تعديلات مناسبة فى الأطراف الأخرى.

ويعتقد بأن انتشار الألواح (التباعد) يحدث عند المرتفعات المحيطية. وحالما ينفصل لوحان، تمتلىء الثغرة التى يحدثانها بصخور منصهرة تنبعث من الغلاف الوهن الساخن (شكل 1 ـ 15) وتبرد هذه المواد ببطء مكونة طبقة رقيقة من قاع المحيطات. وتستمر الانفصالات والامتلاءات المتتالية فى اضافة غلاف صخرى جديد بين الألواح المتباعدة. وهذه الكيفية هى التى أنتجت قاع المحيط الأطلسى خلال المئتى مليون سنة الغابرة، وهى التى تسمى بجدارة **انتشار قيعان البحار**. ويقدر معدل انتشار البحار الشائع بحوالى 5 سنتيمترات فى السنة مع تفاوت ذلك من مكان الى آخر. ان هذا المعدل الذى يبدو بطيئا هو فى الحقيقة سريع لدرجة أنه يمكن اعتبار أن جميع الأحواض المحيطية الحالية قد ولدت خلال الخمسة فى المئة الأخيرة من الزمن الجيولوجى.

وبالرغم من أن الطبقات الصلبة الخارجية للأرض تولد باستمرار عند المرتفعات المحيطية فإن المساحة السطحية للأرض تبقى ثابتة. ولهذا فانه لا بد للغلاف الصخرى أن يتهدم بنفس المعدل الذى يبنى به. ومكان هذا الهدم هو



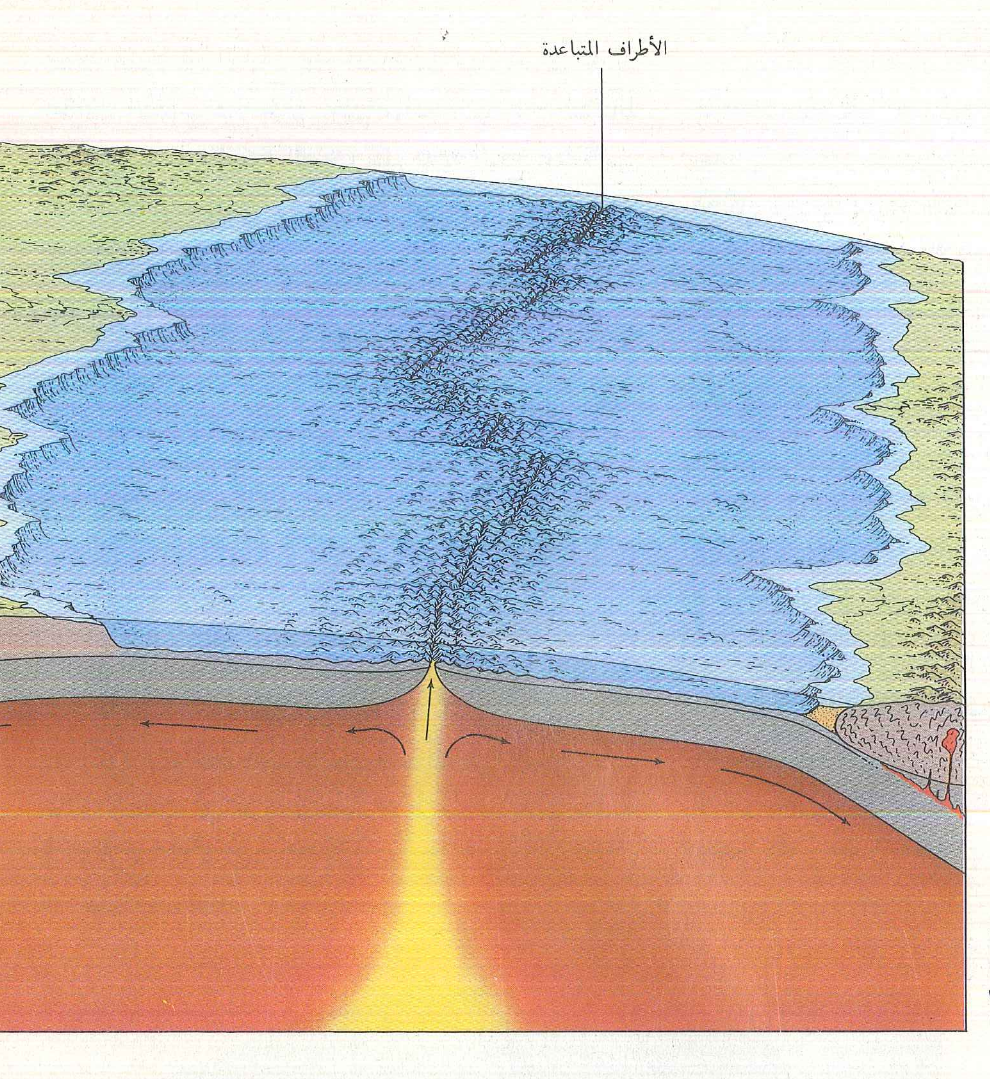
شكل 1 ـ 14

رسم توضيحى لأطراف الألواح:

(أ) ـ أطراف متباعدة.

(ب) ـ أطراف متقاربة.

(جـ) ـ حدود فالق تحويل.

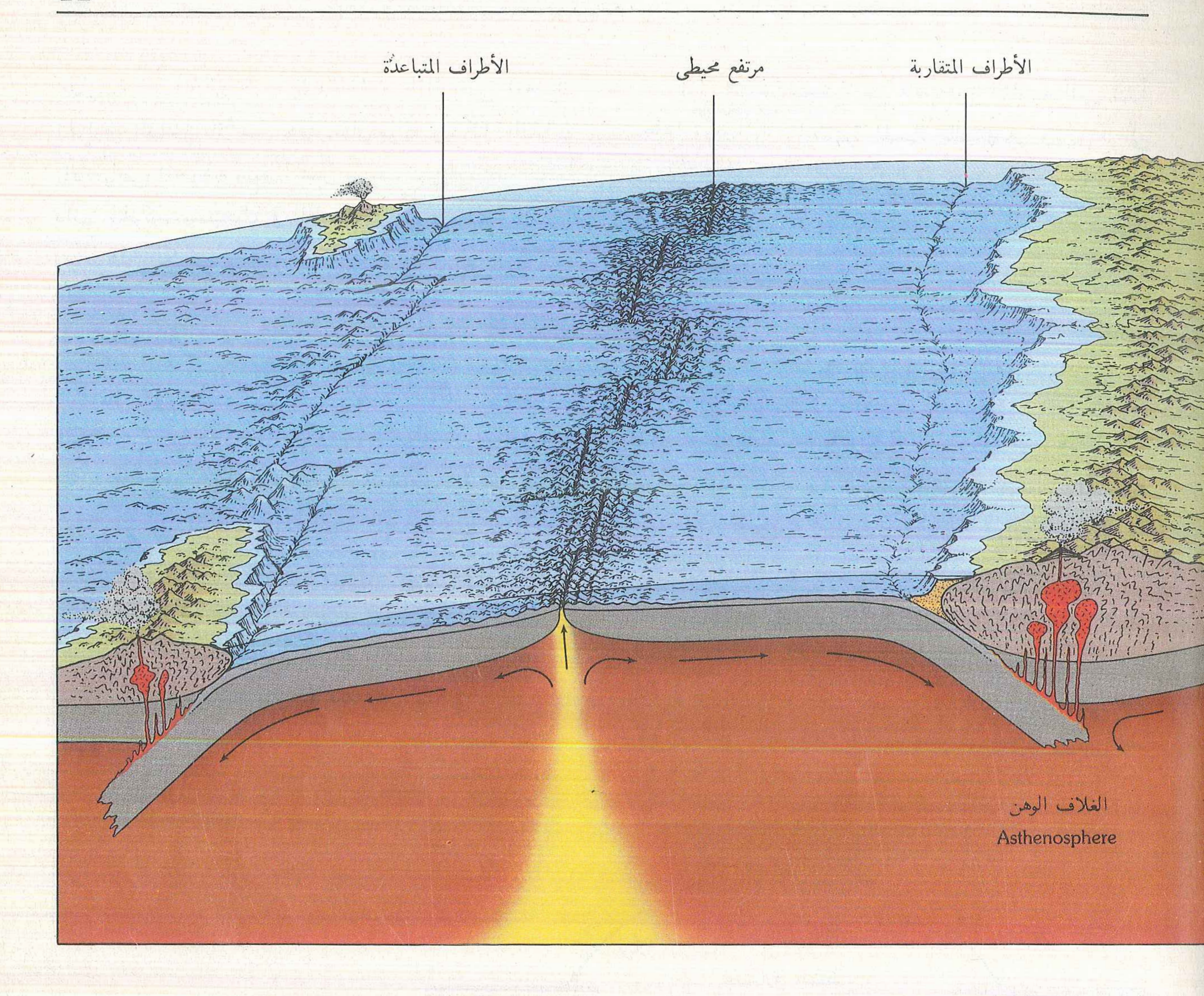


شكل 1 ـ 15
رسم للأرض يوضح علاقة الأطراف المتقاربة بالأطراف المتباعدة للألواح.

منطقة تقارب الألواح. عندما يلتقى لوحان فان طرف احدهما المقترب ينصاع الى أسفل مسهلا بذلك عملية انزلاقه تحت اللوح الآخر. وعندما يصطدم لوحان صخريان احدهما محيطى والآخر قارى، فإن المادة المحيطية التى هى أكثر كثافة دائما تغوص فى الغلاف الوهن الضعيف تحتها (شكل 1 ـ 15).

وتسمى المناطق التى يتم فيها التهام الغلاف الصخرى المحيطى **نطاقات الغوص**. وفى هذه المناطق عندما تتحرك الألواح الصلبة الى اسفل فانها تصبح تحت حرارة وضغط مرتفعين، ويعتقد بأن بعض المواد الغائصة سوف تنصهر وتصعد الى أعلى مخترقة اللوح الذى فوقه. فى بعض الحالات تصل هذه الصخور المنصهرة إلى سطح الأرض حيث تؤدى الى فوران بركانى مثل تلك المكونة لبركان سانت هيلينز.

تقع الأطراف الأخرى التى تمثلها **فوالق التحويل** فى المواقع التى تنزلق فيها الألواح جانبيا دون هدم أو بناء للقشرة الأرضية، وتنشأ هذه الفوالق فى اتجاه حركة الألواح، وقد تم اكتشافها فى البداية مصاحبة للتفاوت الذى يحدث فى المرتفعات المحيطية (شكل 1 ـ 15). ورغم أن معظم فوالق التحويل تقع داخل الأحواض المحيطية، الا أن بعضها يقطع القارات. ومن الأمثلة المشهورة: فالق سان اندرياس



بولاية كاليفورنيا الأمريكية. فعلى امتداد هذا الفالق ينزلق لـوح المحيط الهادى فى اتجاه الشمال الغربى مجتازا لـوح أمريكا الشمالية. ولا تمر هذه الحركة على امتداد الطرفين دون ملاحظة. فبينما ينزلق اللوحان يتراكم الضغط فى الصخور على جانبى الفالق المتقابلين. ويتم تحرير هذا الضغط فى شكل هزات أرضية، مثل التى دمرت مدينة سان فرانسيسكو عام 1906.

ولقد تبين حديثا أن تأثر الألواح ببعضها على امتداد أطرافها هو السبب فى معظم النشاط البركانى والزلازل وبناء الجبال. وعلاوة على ذلك فان هذه الأطراف لا تدوم عبر الزمن. فمثلا، بدأت تتكون منطقة أطراف متباعدة جديدة تمر عبر شرق افريقيا. ولو استمر الانتشار فى تلك المنطقة، فان قارة افريقيا سوف تنشطر الى لوحين يفصلهما محيط جديد. وفى مواقع أخرى تتقارب القارات من بعضها لتكون فيما بعد قارة ضخمة متحدة. وعندما تصطدم قارتان كانتا منفصلتين فان الصخور والرواسب التى توجد فى حوافهما ترتفع تدريجيا لتكوّن سلاسل جبلية شاهقة.

وطالما بقيت الحرارة أكثر ارتفاعا فى أعماق الأرض عما هى عليه عند السطح، فان مواد الأرض سوف تستمر فى الحركة. وهذا التدفق الداخلى سوف يعمل على تحرك القشرة

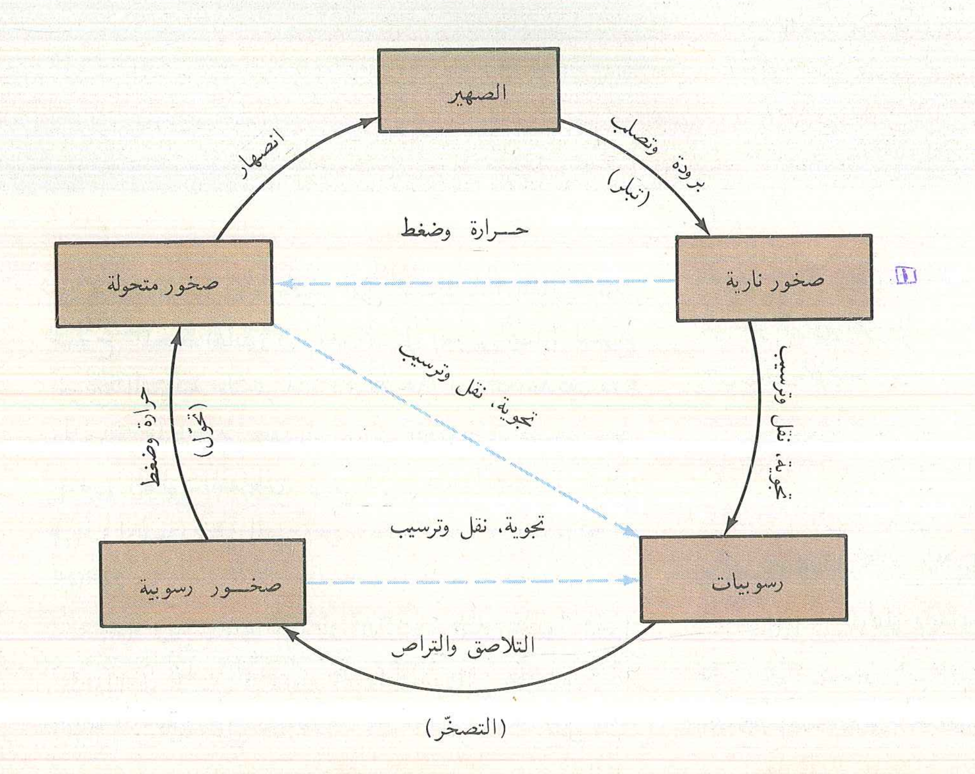
الخارجية الصلبة للأرض. ولهذا فانه طالما بقى المحرك الحرارى الداخلى للأرض يعمل، فان مواقع وأشكال القارات والأحواض المحيطية سوف تتغيّر وسوف تبقى الأرض كوكبا دائب الحركة. وسنبحث فى الفصول الباقية بتفصيل أكثر نشاط هذا الكوكب فى ضوء نموذج تحرك الألواح.

دورة الصخور

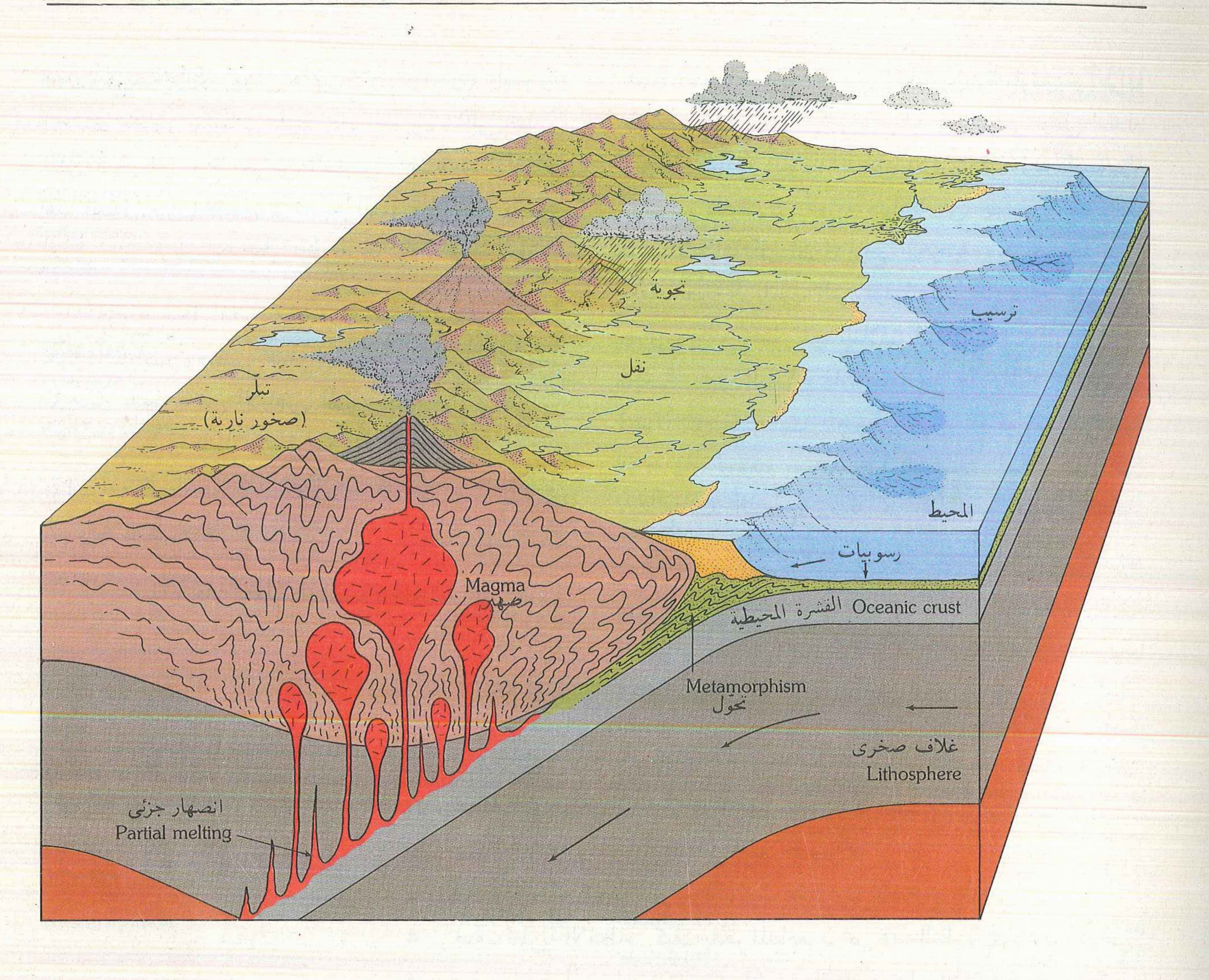
تمثل دورة الصخور احدى الوسائل لفهم عدد من العلاقات المتشابكة فى الجيولوجيا. وبدراستنا لدورة الصخور يمكننا أن نؤكد نشأة الأنواع الأساسية الثلاثة للصخور ونطّلع على دور العمليات الجيولوجية المختلفة التى تعمل على تغير الصخور من نوع الى آخر. وأول من اقترح مبدأ دورة الصخور الذى يعتبر الخطوط العريضة لمبادىء علم الجيولوجيا الطبيعية، هو جيمس هاتون. وفى دورة الصخور هذه (شكل 1 ـ 16) تشير الأسهم الى العمليات، أما المواد فهى مبينة فى المستطيلات.

وأول أنواع الصخور هى **الصخور النارية** التى تنشأ عندما تبرد المواد المنصهرة المسماة **بالصهير** وتتجمد الى صخور تسمى هذه العملية **بالتبلّر**، وهو يحدث فى أعماق الأرض أو فوق سطحها بعد عملية تفجّر البراكين. ويعتقد بأن الأرض كانت منصهرة عند نشأتها الأولى أو قبل ذلك مباشرة. ولهذا فان الصخور النارية هى أول الصخور المكونة للقشرة الأرضية.

وعندما تظهر هذه الصخور النارية فوق سطح الأرض فانها تتعرض لعمليات **التجوية** التى تعمل على تفتيتها يوما بعد يوم الى فتات صغير. وهذا الفتات تجرفه عوامل **التعرية** مثل الجاذبية والمياه الجارية والكتل الجليدية والأمواج حيث تنقله الى مواقع الترسيب. وبمجرد ما يتراكم هذا الفتات الصخرى المسمى **بالرواسب** فى صورة طبقات أفقية فى المحيطات، تبدأ عملية **التصخر**، وهي تعنى عملية التحوّل الى صخر. وتتصخر الرواسب عندما تتضاغط تحت ثقل الطبقات التى فوقها أو عندما تلتحم مع بعضها بمرور المياه



شكل 1 ـ 16
دورة الصخور.
كان جيمس هاتون أول من اقترحها، وهى توضح دور العمليات الجيولوجية فى انتقال أى نوع من الصخور الى نوع آخر.



شكل 1 ـ 17
دورة الصخور حسب نموذج حركية الألواح.

الجوفية عبرها التى تملأ الفراغات البينية بمواد معدنية. واذا ما دفنت **الصخور الرسوبية** تحت أعماق كبيرة فى باطن الأرض أو شهدت حركات بناء الجبال، فانها تتعرض لضغط وحرارة كبيرين، مما يؤثر عليها فتتبدل حسب البيئة المتغيرة الى النوع الثالث من الصخور وهو **الصخور المتحولة**. وعندما تتعرض الصخور المتحولة الى حرارة وضغط أكثر، فانها سوف تنصهر مكونة بذلك صهيرا وهذا بدوره يتصلب كصخور نارية.

وعادة لا تكتمل هذه الدورة كما وصف آنفا. فهناك دورات قصيرة أشير إليها بخطوط متقطعة فى شكل (1 ـ 16). وعلى سبيل المثال، بدلا من تعرّض الصخور النارية لعمليات التجوية والتعرية عند سطح الأرض، فانها قد تتعرض للضغط والحرارة فى أعماق الأرض وتتبدل مباشرة الى صخور متحولة، بينما قد تتعرض الصخور الرسوبية والمتحولة والرواسب الصخرية، للتجوية عند سطح الأرض وتتحول الى مواد أولية جديدة تتكون منها الصخور الرسوبية.

وعندما اقترح جيمس هاتون لأول مرة دورة الصخور، لم تتوفر سوى معلومات قليلة عن العمليات التى يتم بها تبدل صخر الى نوع آخر من الصخور رغم وجود أدلة على هذا التبدّل. وفى الحقيقة، لم تصبح الصورة المكتملة واضحة الا فى عهد قريب بعد تطوّر نظرية حركية الألواح القارية.

ويوضح شكل (1 ـ 17) دورة الصخور بطريقة نموذج تحرك القارات. وحسب هذا النموذج تنتقل المواد التى تعرضت للتجوية من الأراضى المرتفعة الى حواف القارات، حيث تترسب فى طبقات يبلغ سمكها مجتمعة آلاف الأمتار. وتمثل هذه الرواسب بعد تصخرها حشوة من الصخور الرسوبية تحيط بحافة القارة.

وفى النهاية فان عملية الترسيب الهادئة على حافة القارة، سوف تتوقف لأن هذه المناطق عادة ما تصبح أطرافا ملائمة حيث تبدأ الألواح المحيطية فى الغوص. وعلى امتداد الحواف القارية النشطة تشكل الألواح المتقاربة الصخور الرسوبية وتحولها الى أحزمة متوازية من الصخور المتحولة. هذا بالاضافة الى أن الألواح المحيطية عند غوصها تنزل معها بعض الرواسب التى فوقها والتى لم ترتفع على هيئة جبال، وذلك لتصل الى الغلاف الوهن، حيث تمر بعمليات التحول. وفى النهاية فان جزءا من هذه المواد قد يصل أعماقا سحيقة، حيث الضغط والحرارة كافية لبدء عملية الانصهار. وسوف يصعد هذا الصهير الجديد الى أعلى ويندلع عند السطح. ويتولد عن تبلر هذا الصهير صخور نارية تكون عرضة لعوامل التجوية، لتبدأ دورة الصخور من جديد.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ تنقسم الجيولوجيا الى مجالين واسعين. أذكر كلا منهما مع الشرح.

2 ـ صف باختصار تأثير أرسطو على علم الجيولوجيا.

3 ـ كيف كان المؤيدون لنظرية الكوارث يفكرون تجاه عمر الأرض؟

4 ـ صف نظرية الانتظام. كيف يفكر المدافعون عن هذه النظرية تجاه عمر الأرض؟

5 ـ صف باختصار مساهمة كل من بلايفير ولاييل فى علم الأرض.

6 ـ ما هو عمر الأرض كما يعرفه الجيولوجيون اليوم؟

7 ـ لقد تم تأسيس التقويم الجيولوجى دون استعمال التأريخ الاشعاعى. ما هى المبادىء التى استخدمت فى تطوير هذا التقويم؟

8 ـ فرّق بين الغلاف الوهن والغلاف الصخرى للأرض.

9 ـ الشاطىء الحالى للبحار لا يمثل الحد الفاصل بين الالواح القارية والأحواض المحيطية. اشرح ذلك.

10 ـ مع أى نوع من أطراف الألواح يقترن كل من الأشياء الآتية: ـ نطاق غوص القارات، فالق سان أندرياس، انتشار قيعان البحار.

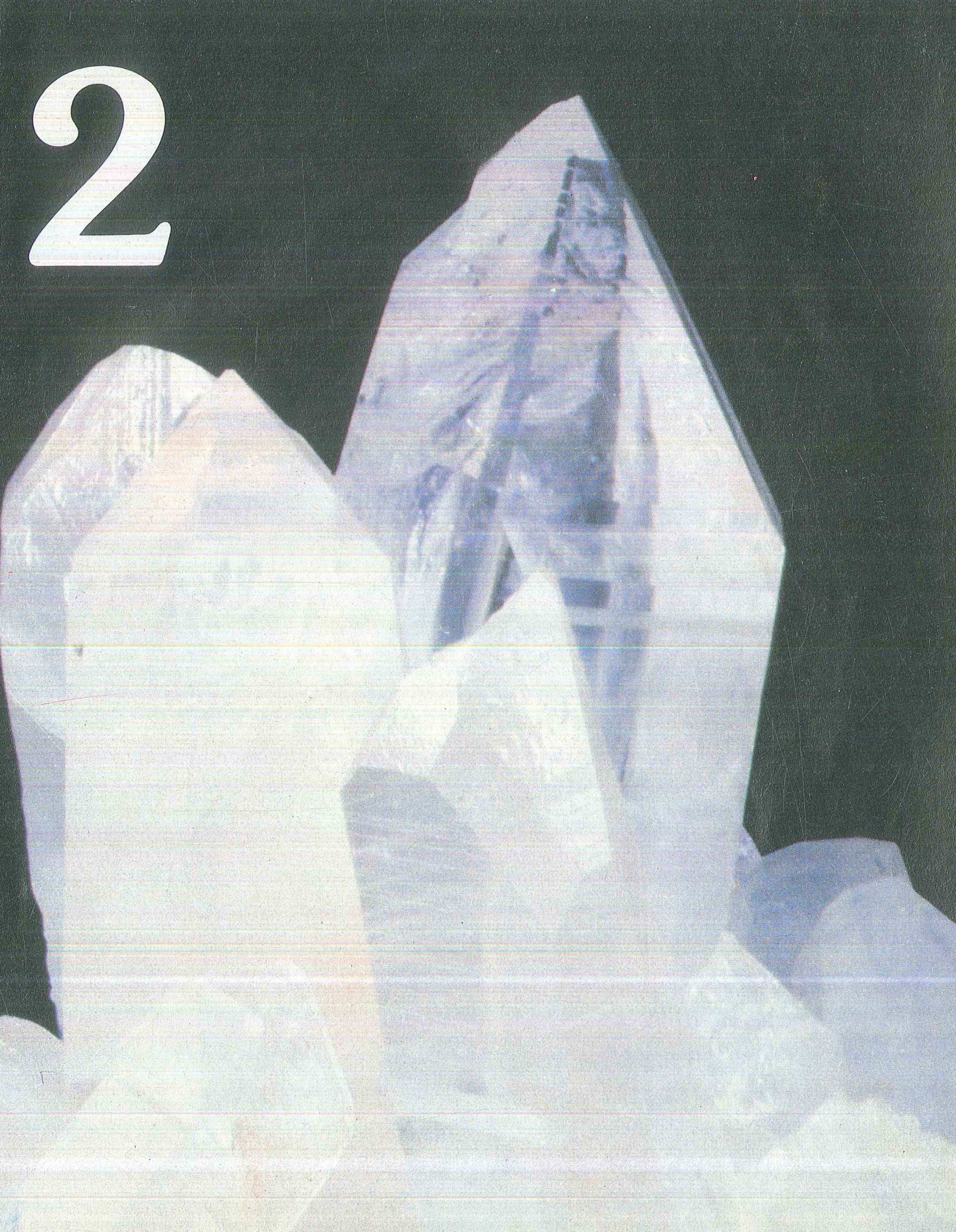
11 ـ باستعمال دورة الصخور، اشرح الجملة التى تقول: «كل صخر يعتبر مادة خام لصخر آخر».

الكلمات الدالة :

أطراف فالق التحويل	transform fault boundary
المستحاثات	fossils
الحواف المتباعدة	divergent boundary
الحواف المتقاربة	convergent boundary
الافتراض السديمى	nebular hypothesis
التأريخ النسبى	relative dating
التبلّر	crystalization
التجوية	weathering
التصخر	lithification
الرف القارى	continental shelf
الجيولوجيا	geology
الجيولوجيا التاريخية	historical geology
الجيولوجيا الطبيعية	physical geology
الحين	Period
خندق	trench
الدهر	Era
الدهر الأوسط	Mesozoic Era
الدهر الحديث	Cenozoic Era
الدهر القديم	Paleozoic Era
الرف	shelf
الرواسب	sediments
الصخور الرسوبية	sedimentary rocks
الصخور المتحولة	metamorphic rocks
الصخور النارية	igneous rocks
الصهير	magma
اللب الخارجى	outer core
اللب الداخلى	inner core
العصر	Epoch
الغلاف الجوى	asmosphere
الغلاف الصخرى	lithosphere
الغلاف المائى	hydrosphere
الغلاف الوهن	asthenosphere
القشرة	crust
الوشاح	mantle
انفراج قاع البحر	sea floor spreading
تعاقب الكائنات	faunal succession
تتابع الطبقات	superposition
تحرك الألواح	plate tectonics
دورة الصخور	rock cycle
لوح	plate
ما قبل الكمبرى	Precambrian
نطاق الغوص	subduction zone
نظام مرتفعات المحيط	oceanic ridge system
نظرية الانتظام	uniformitarianism
نظرية الكوارث	catastrophism

2

المادّة والمعادن


2

الفرق بين الصخور والمعادن

تركيب المـادة:

- التركيب الذرى.
- الترابط.
- الكتلة الذرية.

البنية البلورية للمعادن

الخواص الطبيعية للمعادن

- الشكل البلّورى
- البريق
- اللون
- المخدش (العرق)
- الصلابـة
- الانفصام
- المكسر
- الكثافة النوعية

المجموعات المعدنية

البنية البلورية للسليكات

معادن السليكات

- سليكات الحديد والماغنيسيوم
- سليكات غير الحديد والماغنيسيوم

معادن اللاسليكات

ان سمك الغلاف الخارجى، والذى نسميه بالقشرة، لا يعدو سمك الغشاء الخارجى الذى يغطى ثمرة الخوخ، اذا ما قورن بباقى الأغلفة المكونة للأرض. ومع هذا فهو ذو أهمية بالغة بالنسبة لنا. فنحن نعتمد عليه فى الوقود الحجرى وفى كونه مصدرا لعدة معادن، مثل التلك لمسحوق الأطفال، والملح اللازم للطعام، والذهب للتجارة العالمية. وفى الحقيقة فان توفّر بعض مواد الأرض من عدمه فى بعض الأحيان قد غيرّ مجرى التاريخ.

وبالاضافة الى الأهمية الاقتصادية للصخور والمعادن

بلورات الكوارتز تظهر شكلا بلورياً متميزاً.

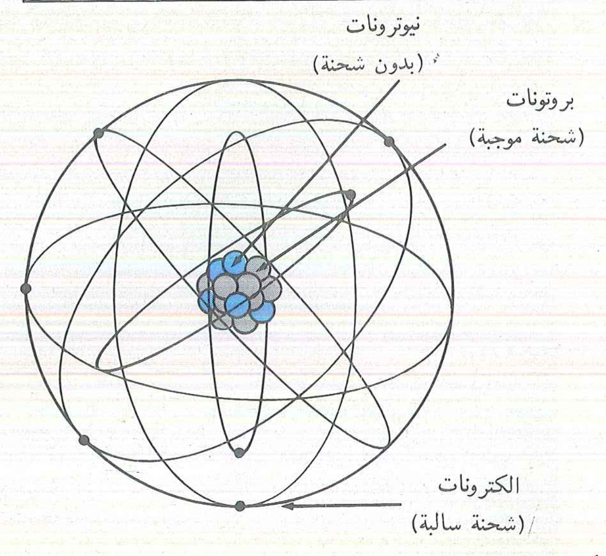
المكونة للقشرة الأرضية، فان جميع الظواهر التى يدرسها الجيولوجيون، هى، بشكل أو بآخر، تعتمد على خواص هذه المواد. فالأحداث الأساسية المكونة للقشرة الأرضية مثل: البراكين، وبناء الجبال، والتجوية والتعرية وحتى الزلازل، جميعها لها علاقة بهذه المواد الأساسية من الصخور والمعادن. وبناء على ذلك فان المعرفة الأساسية لهذه المواد المستمدة من القشرة الأرضية ضرورية لفهم كافة الظواهر الجيولوجية.

الفرق بين الصخور والمعادن

يتصور كثير من الناس، الصخور على أنها أشياء صلبة، وغالبا ما تكون قذرة. وكثير من الناس أيضا يعتبر المعادن مواد مكملة للغذاء، أو ربما خامات نادرة أو أحجاراً كريمة، ويتم تعدينها عادة لقيمتها الاقتصادية، ولكن هذا المفهوم فى الواقع بعيد كل البعد عن الحقيقة.

ويمكن تعريف **الصخر** على أنه تجمّع لمعدن أو أكثر. وهنا تعنى كلمة تجمّع: تواجد المعادن مع بعضها كخليط يحتفظ فيه كل معدن بخصائصه. ولو أن معظم الصخور تشتمل على عدة معادن، الا أن بعض المعادن توجد أحيانا بمفردها وبكميات كثيرة. ويمكن اعتبارها فى هذه الحالة على أنها تمثل معدنا أو صخرا مكونا من معدن واحد. ومن الأمثلة الشائعة معدن الكلسيت الذى يعتبر المكوّن الرئيسى لوحدات صخرية كبيرة تسمى بالحجر الجيرى.

وعلى النقيض من ذلك، فان **المعادن** تعرّف على أنها جوامد طبيعية غير عضوية لها هيكل داخلى ثابت وتركيب كيميائى معلوم. وبالرغم من دقة هذا التعريف فانه لا يخلو من بعض العيوب، فمثلا، يستثنى هذا التعريف المركبات العضوية فى الوقت الذى يعتبر فيه معظم الجيولوجيين الفحم الحجرى والنفط من المواد المعدنية. هذا بالاضافة الى أن التركيب الكيميائى لكثير من المعادن يتفاوت على مدى واسع. ويعالج هذا الفصل بالدرجة الأولى طبيعة المعادن ولكن يجب أن نتذكر دائما أن الصخور هى عبارة عن تجمعات لمعدن أو أكثر. ولهذا فانه يمكن التعرّف على



شكل 2 ـ 1

نموذج مبسط لذرة. تتركب الذرات من نواة مركزية مكونة من بروتونات ونيوترونات وتحيط بالنواة الالكترونات.

خصائص الصخور عن طريق معرفة التركيب الكيميائى والترتيب الداخلى للمعادن المكونة لها.

تركيب المادة

المعادن، هى كغيرها من المواد، مكونة من **عناصر**. ويبلغ عدد العنصر المعروفة فى الوقت الحاضر أكثر من مئة عنصر. ويبلغ ما تم تركيزه فى المعمل حوالى 18 عنصرا. وتتكون بعض المعادن مثل: الذهب والكبريت، من عنصر واحد فقط، ولكن معظم المعادن تتكون من عنصرين أو أكثر تتحد لتكوّن مركبًا ثابتا. ولكى نستطيع فهم كيف يتم اتحاد العناصر. لتكوين مركبات، لا بد لنا من أن نتناول **الذرة**. وهى أصغر جزء من المادة تتوفر فيه خصائص العنصر. وزيادة على ذلك فان هذا الجزء الصغير هو الذى يدخل فى عمليات التفاعل جميعها المصاحبة لتكوين العناصر وتواجدها على شكل مركبات.

التركيب الذرى

الذرات المنفردة هى أصغر من أن نشاهدها بالعين المجردة، ولهذا فان مفهوم التركيب الذرى قد دلت عليه التجربة والنماذج الرياضية. ويوضح شكل 2 ـ 1 نموذجا

معروفا للتركيب الذرى. وتسمى المنطقة المركبة من كل ذرة **بالنواة** . وهى تحتوى على عدد من **البروتونات** ذات كثافة عالية وشحنات موجبة، وعددا آخر من الأجسام ذات شحنات سالبة تسمى **الالكترونات**. وخلافا لدوران الكواكب البطىء تدور الالكترونات بسرعة فائقة لدرجة لا يمكن تحديد موقعها. ولهذا فانه يمكن الحصول على صورة أكثر دقة لمواقع الالكترونات، اذا تصورنا أن سحابة من هذه الالكترونات تحيط بالنواة من كل جانب . ومن المعروف أيضا أنه توجد الالكترونات المنفردة على مسافات محددة من النواة فى مناطق تعرف **بمسارات مستويات الطاقة**. وكما سنرى فيما بعد، فان الحقيقة الهامة حول هذه المسارات هى أن كلا منها لا يستوعب الا عددا محددا من الالكترونات. ويحدد عدد البروتونات فى النواة **العدد الذرى** كما يحدد الاسم الذرى للعنصر. فمثلا جميع الذرات التى تحتوى على 6 بروتونات هى ذرات عنصر الكربون، وجميع الذرات التى تحتوى على 8 بروتونات هى ذرات عنصر الأكسجين، أى أن العدد الذرى يساوى أيضا عدد الالكترونات التى تحيط بالنواة. ونتيجة لذلك، فان الشحنات الموجبة فى البروتونات تعادل الشحنات السالبة فى الالكترونات وبذلك تكون كل ذرة جسيما متعادلا. ويمكن اعتبار كل عنصر على أنه مجموعة كبيرة من الذرات المتعادلة كهربائيا والتى لها نفس العدد الذرى.

ويحتوى الهيدروجين، الذى هو أبسط العناصر على ذرات مكونة من بروتون واحد فى النواة والكترون واحد حولها. وكل من العناصر المتتالية والمتدرجة فى الثقل يزيد على سابقه ببروتون واحد والكترون واحد، بالاضافة الى عدد من النيوترونات (جدول 2 ـ 1). وقد بينت دراسة ترتيب الالكترونات أنه يتم اضافة كل الكترون بشكل مرتب الى مستوى طاقة أو مسار معين مناسب له وبصفة عامة فان الالكترونات تنتقل الى مسارات اعلى عندما تكتمل المسارات الادنى منها. ويتسع المسار الأول لالكترونين اثنين فقط بينما يتسع المسار التالى له لثمانية الكترونات أو أكثر. الالكترونات التى تدخل فى التفاعلات الكيميائية عادة ما توجد فى المسار الخارجى وباستثناء المسار الأول الذى يتسع لألكترونين فقط فان هذا المسار يتسع لثمانية الكترونات كحد أقصى وكما سنرى فيما بعد فإن الالكترونات التى فى المسار الخارجى هى التى تدخل فى عملية الترابط الكيميائى.

الترابط

يحدث الترابط الكيميائى عندما تتحد ذرات عنصرين أو أكثر لتكون مركبًا. وعندما تنفصل الذرات ينفك الترابط ويتحلل المركب. ومن خلال التجارب أمكن معرفة أن القوى الرابطة للذرات هى قوى كهربائية فى الطبيعة. هذا كما أمكن معرفة أن الترابط ينتج عنه تغيرّ فى التركيب الالكترونى للذرات المتحدة. ولهذا فان التنويع المكانى للالكترونات فى الذرات المترابطة مهم جدا لتحديد قوة وطبيعة الترابط الكيميائى الذى ينشأ بين الذرات.

وتحتوى معظم العناصر عادة على أقل من الحد الأقصى لعدد الالكترونات فى مساراتها الخارجية. الغازات الخاملة فقط مثل غاز النيون والأرجون هى وحدها التى لها مسارات خارجية كاملة أو مشبعة، مما يفسر استقرارها الكيميائى وعدم تفاعلها مع بعضها أو مع غيرها من العناصر. ولكن كل الذرات تميل الى تكملة مساراتها الخارجية لتصبح مستقرة كيميائيا مثل الغازات الخاملة. **والقاعدة الثمانية** ، التى تعنى مجموعة من ثمانية تشير الى مفهوم اكتمال المسار الأخير لمستوى الطاقة. وببساطة فان قاعدة الثمانية تقول بأن الذرات تتحد فيما بينها ليناظر ترتيب الالكترونات بها ما هو موجود فى الغازات الخاملة. حيث يحتوى المسار الخارجى على 8 الكترونات.

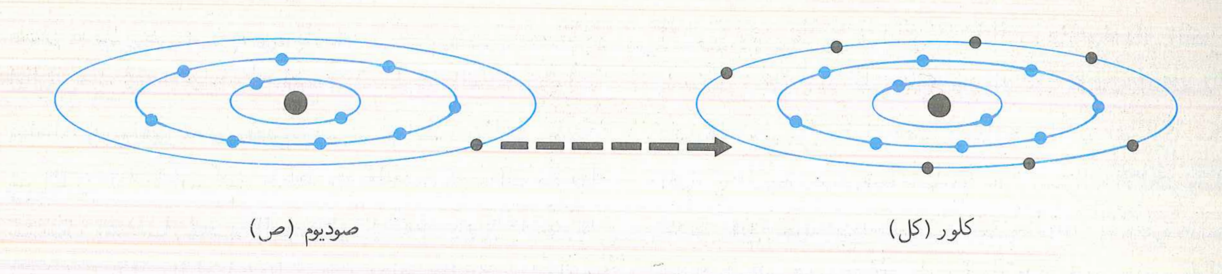
ولكى تنطبق قاعدة الثمانية على أى ذرة، فانه يجب أن تحصل على، أو تفقد، أو تشترك فى الكترونات مع واحدة أو أكثر من الذرات. ونتيجة لهذه العملية فانه تنشأ قوة كهربائية تربط الذرات ببعضها. وتسمى الالكترونات التى تربط الذرات ببعضها **بالكترونات التكافؤ**. ويحدد عدد الكترونات

جدول 2 ـ 1 الرقم الذرى وتوزيع الالكترونات فى المسارات الرئيسة:

العنصر	الرمز	العدد الذرى	عدد الالكترونات فى كل مسار 1	2	3	4
الهيدروجين	يد H	1	1			
الهيليوم	هى He	2	2			
الليثيوم	لى Li	3	2	1		
البريلليوم	بر Be	4	2	2		
البورون	ب B	5	2	3		
الكربون	ك C	6	2	4		
النيتروجين	ن N	7	2	5		
الأكسجين	أ O	8	2	6		
الفلور	فل F	9	2	7		
النيون	نى Ne	10	2	8		
الصوديوم	ص Na	11	2	8	1	
الماغنيسيوم	ما Mg	12	2	8	2	
الألومنيوم	لو Al	13	2	8	3	
السليكون	س Si	14	2	8	4	
الفوسفور	فو P	15	2	8	5	
الكبريت	كب S	16	2	8	6	
الكلور	كل Cl	17	2	8	7	
الأرجون	أر Ar	18	2	8	8	
البوتاسيوم	بو K	19	2	8	8	1
الكالسيوم	كا Ca	20	2	8	8	2

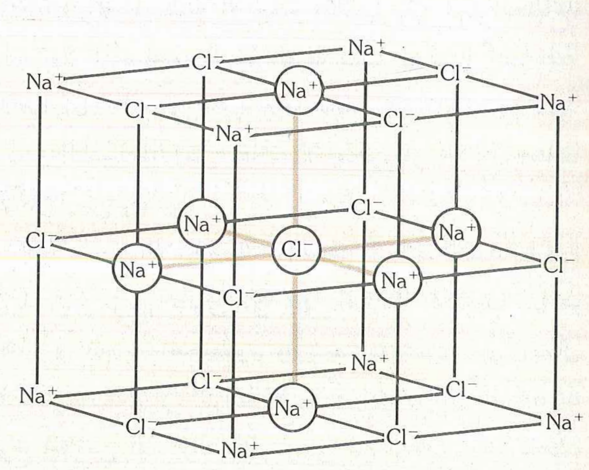
التكافؤ عدد المرات الرابطة. فالسليكون مثلا يحتوى على أربعة الكترونات تكافؤ ويكوّن أربعة وصلات لاستكمال مساره الخارجى بينما يكوّن الأكسجين وصلتين والهيدروجين وصلة واحدة.

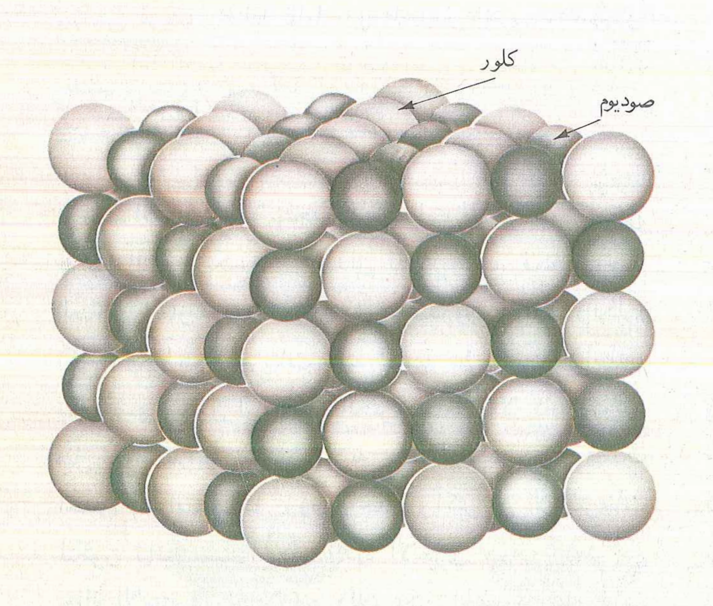
الترابط الأيونى: يعتبر الترابط الأيونى أبسط ترابط يمكن تصوره. ففيه ينتقل الكترون تكافؤ أو أكثر من ذرة الى أخرى. وتصبح احدى الذرات مستقرة بالاستغناء عن الكتروناتها التكافؤية بينما تستعملها الذرة الأخرى لاستكمال مسارها الخارجي. ومن أمثلة الترابط الأيونى، استعمال الصوديوم (ص) والكلور (كل) لانتاج كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) كما هو مبين فى شكل (2 ـ 2). وهنا يفقد الصوديوم الكترونه الخارجى الوحيد لصالح الكلور. وبهذا يصل الصوديوم الى الترتيب الموجود فى غاز النيون المحتوى على زوج من الالكترونات فى المسار الأول وثمانية في مساره الخارجي. وتعمل ذرة الكلور على ملء مسارها الخارجي بإضافة إلكترون واحد لتصل الى الترتيب الموجود فى عنصر الأرجون. ولكن هذه الذرات لم تعد متعادلة كهربائيا لأنه لا يتساوى عدد الكترونات وعدد البروتونات



شكل 2 ـ 2

الترابط الأيونى بين الصوديوم والكلور ليكوّن كلوريد الصوديوم. عند انتقال الكترون واحد من الصوديوم الى الكلور يصبح الصوديوم أيوناً موجب الشحنة ويصبح الكلور أيونا سالب الشحنة.





شكل 2 ـ 3

رسم توضيحى لترتيب أيونات الصوديوم والكلور فى ملح الطعام. أ ـ توضيح الهيكل من الداخل وفيه ترتيب الأيونات. ب ـ الأيونات الحقيقية كما تبدو متراصة.

فى أى منها. ومثل هذه الذرات التى لا تحتوى على شحنات متساوية بسبب كسبها أو فقدها للالكترونات تسمى **بالأيونات**. ويصبح الصوديوم أيونا ذا شحنة موجبة. أما الكلور فيصبح أيونا ذا شحنة سالبة. وينتج الترابط الأيونى من تجاذب هذه الجسيمات المختلفة فى الشحنة. ويقال ببساطة أن الأيونات المختلفة الشحنات تتجاذب لتكوّن مركبّا كيميائيا متعادلا. ويوضح شكل (2 ـ 3) ترتيب ذرات الصوديوم والكلور فى ملح الطعام. لاحظ أن الملح يتركب من تناوب ذرات الصوديوم والكلور والتى يترتب وضعها بحيث أن كل أيون موجب يتجاذب مع ويحيط به من كل جانب أيونات سالبة، والعكس بالعكس. ولهذا فان المركبات الأيونية هى عبارة عن ترتيب منظم من الأيونات مختلفة الشحنات تتجمع بنسبة ثابتة يتحقق بواسطتها التعادل الكهربائى.

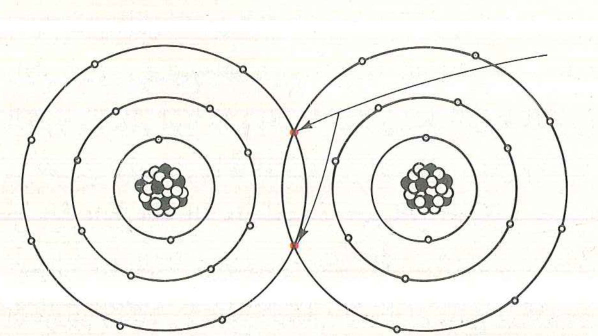
وهذا هو المكان المناسب للاشارة الى أن المركبات الكيميائية تختلف نهائيا عن خواص العناصر المكونة لها.

فمثلا الكلور هو عبارة عن غاز مخضرّ سام ودرجة سموميته عالية حتى أنه استعمل كسلاح أثناء الحرب العالمية الأولى. أما الصوديوم فهو معدن فضى رخو وسام أيضا يتفاعل بشدة مع الماء، فاذا ما أمسكت بقطعة منه فانه سيسبب لك حروقا شديدة. وعندما يتحد العنصران ينتج عنهما كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) الذى هو مادة بللورية شفافة وضرورية لحياة الانسان. وهذا المثال يوضح الفرق بين الصخر والمعدن. فالمعدن عبارة عن مركب كيميائى له خواص فريدة ومختلفة تماما عن العناصر التى تدخل فى تركيبه. أما الصخر فهو، من ناحية أخرى، خليط من معادن كل منها محتفظ بخصائصه المميزة.

الروابط التساهمية: لا تتحد كل الذرات لتكوّن أيونات عن طريق الترابط بكسب أو فقدان للالكترونات، فمثلا توجد العناصر الغازية كالأكسجين (أ$_2$) والهيدروجين (يد$_2$) والكلور (كل$_2$) على هيئة جزيئات ثابتة محتوية على ذرتين مترابطتين مع بعضهما بدون أن تنتقل الكترونتهما انتقالا كاملا. ويعد مثل هذا الترابط ضروريا لأنه حتى لو حدث وأن قبلت احدى الذرات فى كل زوج واحدا أو أكثر من الالكترونات لتكوّن ثمانياً مستقراً، فان الذرة الأخرى سوف تبتعد عن حالة الاستقرار. وبدلا من ذلك يمكن الحصول على ثُمانى مستقر عندما تتشارك الذرتان فى الالكترونات التى بمساريهما الخارجيين. ويوضح شكل 2 ـ 4 الاشتراك فى زوج من الالكترونات بين ذرتين من الكلور لتكون جزيئا من غاز الكلور. وعن طريق تداخل المسارات الخارجية فان الكترونا واحدا فى كل ذرة كلور من بين الالكترونات السبعة فى مسارها الخارجى يكمل المسار الخارجى للذرة المشاركة مكونا الثمانى المستقر. والترابط الناتج عن اشتراك الالكترونات لتصل الى حالة من حالات الغاز الخامل المستقرة تسمى **بالترابط التساهمى**. وتحتوى السليكات التي هي من أكثر المجموعات المعدنية شيوعا على السليكون الذى هو جاهز دائما لتكوين الروابط التساهمية مع الأكسجين.

ويمكن أن تساعد أمثلة القياس على فهم تصور الرباط التساهمى. لو تصورت أن شخصين يجلسان فى النهايتين المتقابلتين لغرفة قليلة الاضاءة وكلاهما يقرأ قرب مصباح، فاذا نقلا المصباحين لوسط الغرفة فانه يمكنهما مضاعفة الاضاءة لصالح كل منهما ليرى بوضوح. ومثلما يتعذر تحديد مصدر الضوء المتداخل، فانه لا يمكن فرز الالكترونات المتشاركة من بعضها.

ولا بد من الاشارة الى أن معظم الروابط الكيميائية هى فى الحقيقة مزيج يحتوى من جهة اشتراكا الكترونيا كما هو الحال فى الترابط التساهمى. والى حد ما يحتوى على انتقال للالكترونات كما فى الترابط الأيونى. واضافة الى ذلك، يوجد نوع آخر من الاشتراك الالكترونى غير العادى وفيه تتحرك الالكترونات بحرية من ذرة الى أخرى. ويوجد هذا النوع من الترابط فى الفلزات مثل النحاس والذهب والألومنيوم والفضة. وتطلق لفظة **الترابط الفلزى** على هذا النوع من الاشتراك الالكترونى. ويفسر الترابط الفلزىّ ظاهرة ارتفاع



شكل 2 ـ 4

رسم توضيحى يظهر الترابط التساهمى بين ذرتين من عنصر الكلور وهما تقتسمان زوجاً من الالكترونات لتكونا جزىء غاز الكلور.

التوصيل الكهربائى فى الفلزات والسهولة التى يتكيف بها شكل الفلزات وعدد آخر من الخواص التى تميزها.

الكتلة الذرية

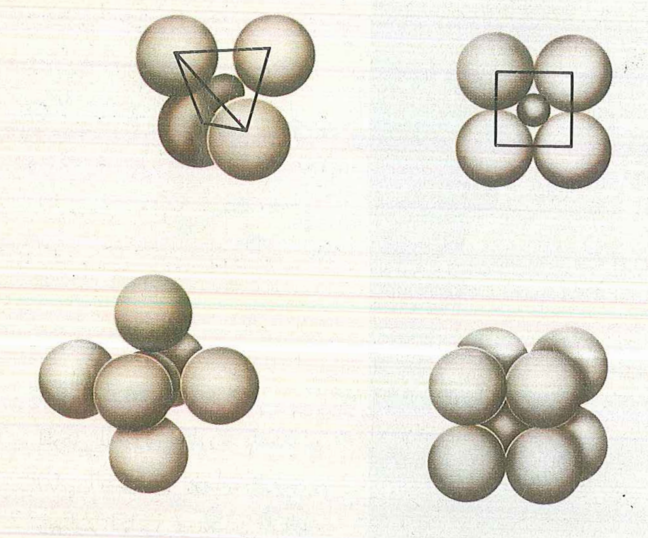
تعتبر الجسيمات المكونة للذرات مثل البروتونات ضئيلة جدا لدرجة أن وحدات خاصة وضعت لتحديد وزنها. فلكل من البروتون والنيوترون كتلة أكبر بقليل من وحدة الكتلة الذرية، بينما يشكل الالكترون جزءا من 2000 جزء تقريبا من وحدة **الكتلة الذرية**. ولهذا برغم الدور الذى تلعبه الالكترونات فى التفاعلات الكيميائية فإن مساهمتها فى الكتلة الذرية تكاد لا تذكر. ويمكن الحصول على **الكتلة العددية** للعنصر باضافة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات فى النواة. ومن الطبيعى جدا أن تحتوى ذرات العنصر الواحد على أعداد متفاوتة من النيوترونات وأن تختلف فى وزنها الذرى، ومثل هذه الذرات يسمى **نظائر** لذلك العنصر. فمثلا هناك نظيران معروفان لعنصر الكربون، الكتلة الذرية لأحدهما 12 (كربون 12) وكتلة الآخر 14 (كربون 14). تذكّر أن كل ذرات العنصر الواحد لا بد أن تحتوى على نفس العدد من البروتونات (العدد الذرى) وأنه يساوى 6 دائما بالنسبة للكربون. ولهذا فان كربون ـ 12 به 6 نيوترونات ليساوى وزنه الذرى 12، بينما كربون ـ 14 به 8 نيوترونات ليساوى وزنه الذرى 14. والعدد الذى يستعمل عادة للتعبير عن متوسط الكتل الذرية لنظائر أى عنصر هو **الوزن الذرى**. فالوزن الذرى للكربون هو أقرب الى 12، لأن كربون ـ 12 هو أكثر النظيرين شيوعا. ويجب الاشارة الى أنه لا يمكن التفريق كيميائيا بين نظائر أى عنصر. ويشبه ذلك محاولة التفريق بين مجموعة من الأشياء المتشابهة التى لها نفس الشكل والحجم واللون ولكن بعضها أثقل قليلا من بعض.

وبالرغم من أن معظم الذرات مستقرة، الا أن كثيرا من العناصر لها نظائر غير مستقرة. فالنظائر غير المستقرة مثل كربون ـ 14 تمر بعملية تآكل طبيعى تسمى **بالنشاط الاشعاعى** وهى تحدث عندما تصبح القوة التى تربط النواة مع بعضها ضعيفة. ويمكن قياس المعدلات التى يتم بها تفكك (تآكل) النوى غير المستقرة، وهذا يجعل مثل هذه العناصر عدّادات مفيدة فى تحديد عمر الحادثات فى تاريخ الأرض (يحتوى الفصل التاسع عشر على مناقشة تفصيلية للنشاط الاشعاعى وتطبيقاته فى تحديد عمر الحادثات فى الماضى الجيولوجى).

البنية البلّورية للمعادن

يحتوى المعدن على صفوف منتظمة من الذرات المترابطة كيميائيا لتشكّل بنية بلّورية معينة. وينعكس هذا التصفيف المنتظم للذرات فى أجسام ذات أشكال منتظمة نسميها بالبلّورات (أنظر الصورة الافتتاحية لهذا الفصل).

ما الذى يحدد البنية البلّورية الخاصة بكل معدن؟ بالنسبة للمركبات المكونة من أيونات، فان الترتيب الداخلى للذرات تحدده جزئيا الشحنات التى تحملها هذه الأيونات، ويحددها أيضا، وهو المهم، حجم الأيونات المعنية. وحتى

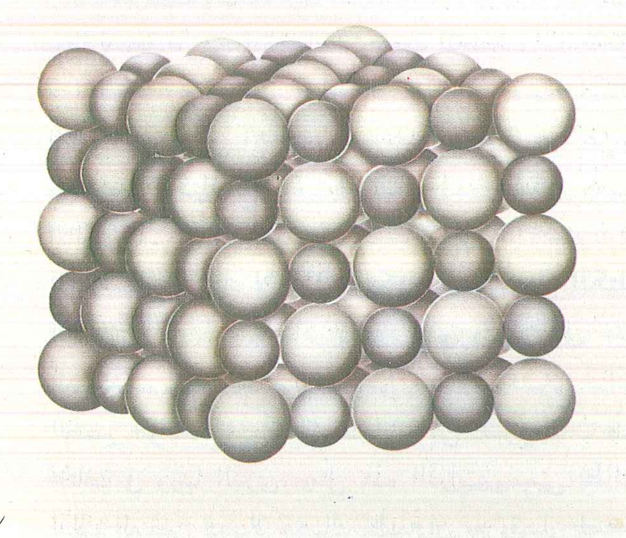


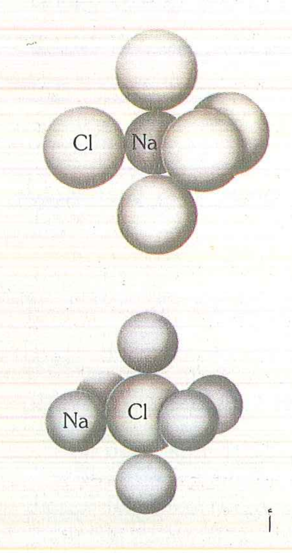
شكل 2 ـ 5

التراص النموذجى المنتظم لعدة أحجام من الأيونات الموجبة والأيونات السالبة.

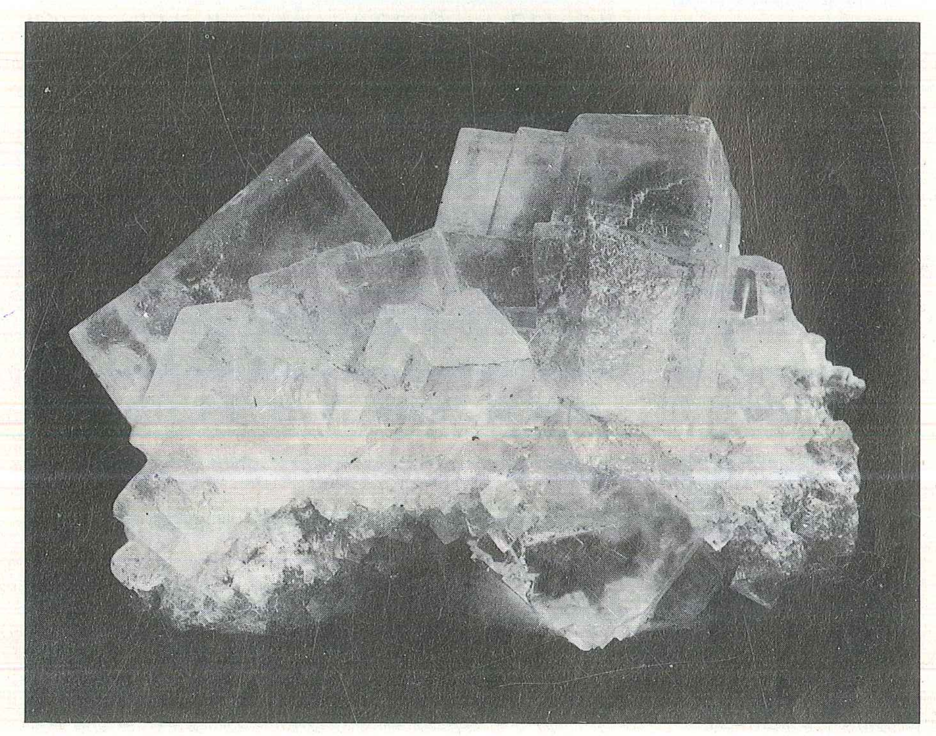
تتكون مركبات أيونية مستقرة، فان كل أيون موجب يحيط به أكبر عدد ممكن من الأيونات السالبة المناسبة من حيث الحجم، بينما تتم المحافظة على تعادل الشحنات، والعكس صحيح.

ويوضح شكل 2 ـ 5، عدة احتمالات نموذجية هندسية لأيونات ذات أحجام مختلفة. فلقد فحصنا فيما سبق الترتيب الهندسى لأيونات الصوديوم والكلور فى معدن الهاليت. وفى شكل 2 ـ 6، على مقياس أكبر، نرى أن التصفيف المنتظم





أ



ب

شكل 2 ـ 6

الهيكل البلورى لكلوريد الصوديوم.

(أ) ـ النسق بين أيونات الصوديوم وأيونات الكلور فى معدن الهاليت.

(ب) ـ الترتيب المنتظم على مستوى الذرات يعطى بلورات لها شكل منتظم.

لأيونات الصوديوم والكلور ينتج بلّورات الهاليت المكعبة. ومثل الهاليت، فان عينات كل معدن تحتوى على نفس العناصر متحدة مع بعضها بنفس الترتيب المنتظم.

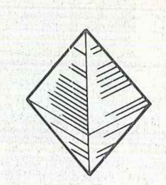
ورغم أنه من المسلم به أن لكل معدن بنية داخلية معينة، الا أن بعض العناصر يمكن أن تتحد مع بعضها بأكثر من طريقة. ولذلك، فانه يمكن وجود معدنين مختلفين فى الخواص ولكنهما متفقين تماما فى التركيب الكيميائى. وتسمى المعادن من هذا النوع بالمعادن **متعددة الشكل**. ومن الأمثلة الشهيرة معدنى الجرافيت والماس لأنهما يتركبان كليا من الكربون رغم اختلافهما الشديد فى الصورة. فالجرافيت هو المادة الرمادية اللينة المستعملة فى أقلام الرصاص، بينما الماس هو أصلب معدن معروف. وتعزى الفروق التى بينهما الى الظروف التى تكونا تحتها. اذ من المعتقد أن الماس يتكون عند أعماق تصل الى 200 كيلومتر حيث ينتج عن الضغط الشديد بنية مكتنزة، كما يظهر فى شكل (2 ـ 7 أ). أما الجرافيت فهو يتكون من صفائح من ذرات الكربون المتباعدة ضعيفة الترابط (شكل 2 ـ 7 ب). وحيث أنه يسهل انزلاق هذه الصفائح عن بعضها، فان الجرافيت يكون مادة تشحيم ممتازة.

الخواص الطبيعية للمعادن

المعادن هى مواد متكونة عن نشاط غير عضوى. وذرات كل معدن لها ترتيب منظم (البنية البلّورية) وتركيب كيميائى محدد والذى يعطيه مجموعة من الخواص الطبيعية المميزة. وبما أنه يصعب تحديد البنية الداخلية والتركيب الكيميائى للمعادن دون مساعدة الأجهزة والأدوات العلمية المعقدة، فانه يمكن استعمال الخواص الطبيعية التى تسهل ملاحظتها فى التعرف على المعادن. وفيما يلى مناقشة لبعض الخواص الطبيعية المميزة للمعادن.

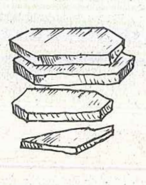
الشكل البلّورى

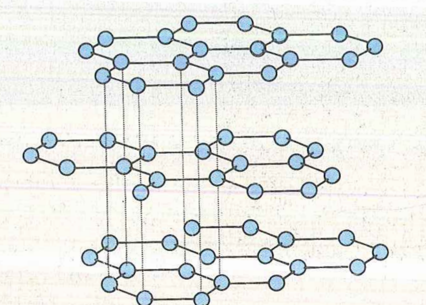
يعتقد الكثيرون أن **البلّورات** نادرة الوجود فى الوقت الذى نعرف أن معظم المواد الصلبة غير العضوية مكونة من



الماس

أ





الجرافيت

ب

شكل 2 ـ 7

مقارنة بين الهيكل البلورى فى كل من الماس والجرافيت.

بلّورات، والسبب فى هذا الاعتقاد الخاطىء هو أن معظم البلّورات لا تظهر شكلها البلّورى. **فالشكل البلّورى** هو التعبير الخارجى للمعدن الذى يعكس الترتيب الداخلى المنتظم لذراته. ويوضح شكل (2 ـ 8 أ)، خصائص الشكل البلّورى لمعدن الباريت الذى يحتوى على الحديد. وفى جميع الحالات التى تسمح للمعدن بالتبلّر دون ازدحام، تتكوّن بلّورات منفردة. وتمتلك بعض البلّورات مثل بلّورات المرو (الكوارتز) أشكالا بلّورية متميزة تساعد على التعرف عليها (أنظر شكل 2 ـ 8 ب)، ولكن فى معظم الأوقات يتوقف النمو البلّورى بسبب التنافس على شغل الفراغ الذى يؤدى الى تداخل فى نمو الكتل البلّورية مما يؤدى الى عدم ظهور شكلها البلّورى.

البريق

البريق هو المظهر أو نوعية الضوء المنعكس من سطح المعدن. فيقال للمعادن التى لها مظهر فلزىّ، بغض النظر عن لونها، أن لها بريقا فلزيّا. أما المعادن التى ليس لها بريق فلزيّ فتوصف بعدة صفات، من بينها الزجاجى واللؤلؤى والحريرى والزبيبى والترابى. ولبعض المعادن مظهر قريب من البريق الفلزىّ ولهذا تسمى شبه فلزية.

اللون

رغم أن **اللون** هو أكثر الصفات وضوحا فى المعدن، الا أنه أقل الصفات أهمية من حيث الاعتماد عليه فى تشخيص المعدن. فقليل جدا من الشوائب فى معدن المرو (الكوارتز) مثلا يمنحه عدة ألوان، منها الوردى والأرجوانى

أ



ب

شكل 2 ـ 8

الشكل البلورى هو المظهر الخارجى للهيكل الداخلى المنتظم للمعدن. (أ) ـ بلورات لمعدن الباريت. (ب) ـ بلورة لمعدن الكوارتز.

(الأماثيست) والأبيض وحتى الأسود. وعندما يكتسب معدن ما، مثل الكوارتز، ألوانا متنوعة يقال أن لهذا المعدن تلون غريب. ومعادن أخرى مثل الكبريت ذو اللون الأصفر والمالاكيت ذو اللون الأخضر الساطع، يقال أن لها ألوانا متأصلة.

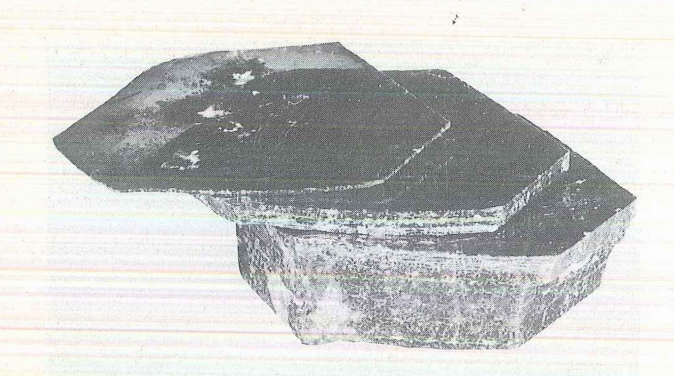
المخدش (العرق)

المخدش هو لون المعدن عندما يكون على شكل مسحوق. ويمكن الحصول عليه عن طريق حك المعدن فوق طبق من الخزف غير المصقول. وقد يتفاوت لون المعدن من عينة الى أخرى، ولكن يبقى لون المخدش ثابتا لا يتغير. ولهذا فهو خاصية يمكن الاعتماد عليها. ويساعد المخدش فى التفريق بين المعادن ذات البريق الفلزىّ والمعادن اللافلزيّة، حيث أن للمعادن الفلزيّة عادة مخدش داكن كثيف بينما تفتقر إلى ذلك المعادن اللافلزيّة.

الصلابة

من أهم الخصائص المميزة هى **الصلابة** وهى مقاومة المعدن للمخدش أو البرى. وهى خاصية نسبية يمكن تحديدها عن طريق خدش معدن مجهول الصلابة بمعدن آخر معلوم أو العكس. ويمكن الحصول على قيمة عددية بواسطة استعمال سلم (موه) للصلابة والذى يتكون من عشرة معادن مرتبة من درجة صلابة 1 (أقلها صلابة) الى درجة صلابة 10 (أكثرها صلابة) وهى تتدرج كما يلى:

الصلابة	المعدن
1	التّلك
2	الجبس
3	الكالسيت
4	الفلوريت
5	الأباتيت
6	الأرثوكليز
7	الكوارتز
8	التوباز
9	الكوراندم
10	الماس



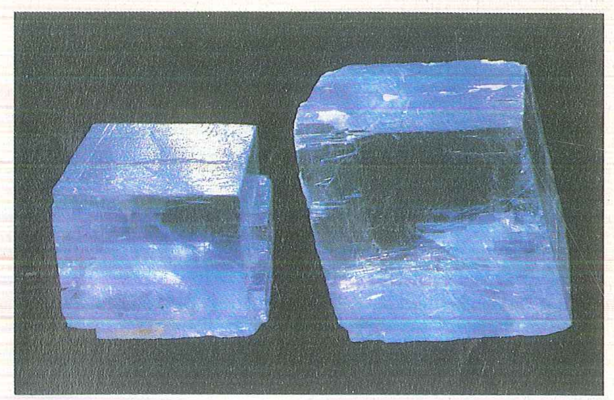
شكل 2 ـ 9

انفصام من النوع الصفائحى الشائع فى معدن المايكا.

ويمكن مقارنة أى معدن مجهول الصلابة بهذه المعادن أو بأشياء أخرى معروفة الصلابة. وتقدر صلابة ظفر الانسان بحوالى 2.5 وصلابة قطعة النقود النحاسية بحوالى 3 وصلابة قطعة من الزجاج بحوالى 5.5 . فالجبس الذى تقدر صلابته بحوالى 2 يمكن خدشه بواسطة الظفر بسهولة، بينما معدن الكلسيت الذى صلابته 3 سوف يخدش الظفر ولكنه غير قادر على خدش الزجاج. وأما الكوارتز وهو أكثر المعادن الشائعة صلابة فانه يخدش الزجاج بسهولة.

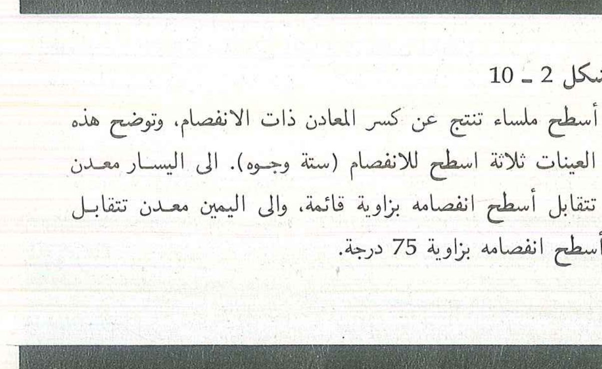
الانفصام

هو قابلية المعدن للتشقق على امتداد مستويات ضعيفة الترابط. ويمكن التعرف على المعادن التى لها **انفصام** عن طريق السطوح الملساء التى تنتج عند كسر هذه المعادن. ومن أبسط أنواع الانفصام هو انفصام معدن المايكا (شكل 2 ـ 9). وبما أن للمايكا انفصام جيد فى اتجاه واحد، فهى تنكسر مكونة رقائق دقيقة مستوية. ولبعض المعادن عدة مستويات انفصام تحدث أسطح ملساء عند تكسرها، بينما يوجد لبعضها انفصام ردىء قد ينعدم الانفصام فى بعضها الآخر. وعندما تنكسر المعادن بانتظام فى أكثر من اتجاه، يمكن وصف الانفصام بعدد المستويات التى يشكلها والزوايا التى تتقابل فيها هذه المستويات. (شكل 2 ـ 10).




شكل 2 ـ 10

أسطح ملساء تنتج عن كسر المعادن ذات الانفصام، وتوضح هذه العينات ثلاثة اسطح للانفصام (ستة وجوه). الى اليسار معدن تتقابل أسطح انفصامه بزاوية قائمة، والى اليمين معدن تتقابل أسطح انفصامه بزاوية 75 درجة.





شكل 2 ـ 11

تكسر محارى. تنشأ الأسطح المنحنية الملساء عندما يتكسر المعدن مثل انكسار الزجاج.

ويجب عدم الخلط بين الانفصام والشكل البلّورى، فعندما يكون للمعدن انفصام فانه ينكسر على هيئة قطع لها نفس الهيئات التى للقطعة الأصلية. وعلى العكس من ذلك، فان بلّورات الكوارتز التى ترى فى الصورة، فى بداية هذا الفصل، ليس لها انفصام وهذا فهى اذا انكسرت فانها تتهشم الى أشكال غير متشابهة ولا تشبه البلّورة الأصلية.

المكسر

من المعادن مثل الكوارتز الذى وصف آنفا ما ليس له انفصام، ويقال أنه يتكسر عند تحطمه. ونوع الانكسار الذى يحدث أسطحا ملساء منحنية مثل انكسار الزجاج، يسمى بالمكسر المحّارى (شكل 2 ـ 11). أما الأنواع الأخرى فتحدث شظيات أو فتائل ولكن معظم المعادن تتكسّر في غير إنتظام.

الكثافة النوعية

الكثافة النوعية، هى عبارة عن عدد يمثل نسبة وزن المعدن الى وزن حجم مساو له من الماء. فمثلا اذا كان وزن أى معدن يساوى ثلاثة اضعاف وزن حجم مساو له من الماء، فان كثافته النوعية تساوى 3. وبقليل من التمرين تستطيع تقدير ثقل المعادن بتسس وزنها باليد. فمثلا اذا كان ثقل معدن مثل ثقل الصخور والتى سبق لك تداولها، فثقله النوعى سيقع بين 2.5 الى 3. وتبلغ الكثافة النوعية لبعض العناصر الفلزيّة ضعف أو ثلاثة أضعاف المتوسط. فالجالينا التى هى خام الرصاص مثلا لها ثقل نوعى يبلغ حوالى 7.5 بينما يبلغ الثقل النوعى للذهب الخالص حوالى 20.

المجموعات المعدنية

من المعروف أن هناك أكثر من 2000 معدن، ولحسن حظ الدارسين لها فان المعادن الشائعة لا تزيد عن العشرين. وهذه مجتمعة تكوّن معظم القشرة الأرضية وتصنف على أنها المعادن المكونة للصخور. ومن المهم أيضا الاشارة الى أن

معظم هذه المعادن تتركب من 8 عناصر وتشكل ما يزيد عن 98 % (من حيث الوزن) من القشرة القارية (الجدول 2 ـ 2). والعنصران الأكثر تواجدا هما الأكسجين والسليكون اللذان يتحدان ليكوّنا مجموعة المعادن الأكثر شيوعا والتى تعرف بمجموعة**السليكات**. فكل معدن سليكات يحتوى على الأكسجين والسليكون وكلها، ما عدا الكوارتز، تحتوى على عنصر أو أكثر من العناصر الاضافية لتصل الى التعادل الكهربائى. وربما يأتى فى المرتبة الثانية، من حيث الوفرة، مجموعة الكربونات والتى يعتبر معدن الكالسيت من أهمها. هذا وتشمل المعادن الأخرى المكونة للصخور معدنى الجبس والهاليت (ملح الطعام).

والى جانب المعادن المكونة للصخور، هناك عدد من المعادن ذات قيمة اقتصادية وتشمل هذه المجموعة خامات الفلزات مثل الهيماتيت (خام الحديد)، والسفاليريت (خام الخارصين)، والجالينا (خام الرصاص). والعناصر المنفردة مثل

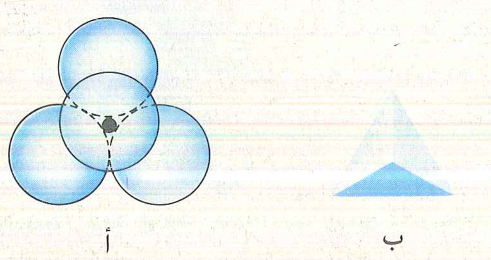
جدول 2 ـ 2 الوفرة النسبية للعناصر الأساسية فى القشرة القارية.

العنصر	النسبة المئوية التقريبية للوزن
الأكسجين (أ) (O)	46.6
السليكون (س) (Si)	27.7
الألومونيوم (لو) (Al)	8.1
الحديـد (ح) (Fe)	5.0
الكالسيوم (كا) (Ca)	3.6
الصوديوم (ص) (Na)	2.8
البوتاسيوم (بو) (K)	2.6
الماغنيسيوم (ما) (Mg)	2.1
بقية العناصر	1.5
الاجمالى	100

الذهب والفضة والكربون (الماس) وعدد كبير آخر، مثل الفلوريت، والكوراندم، واليورانيتيت. لاحظ أن للمعادن المكونة للصخور فوائد اقتصادية كذلك. فيستعمل مثلا معدن الكوارتز فى انتاج الزجاج ويشكل الكالسيت المكوّن الرئيس للترابة (نوع بورتلاند). ويتكون الجص من معدن الجبس.

البنية البلّورية للسليكات

تحتوى جميع معادن السليكات على نفس البنية الأساسية، رباعى الأسطح للسليكون والأكسجين. وبنية السليكات هذه تتكون من أربعة ذرات أكسجين تحيط بذرة سليكون أقل حجما وتقع فى الفراغ بين ذرات الأكسجين (شكل 2 ـ 12). ولا يعتبر رباعى الأسطح للسليكون والأكسجين مركبا مستقرا بأى حال، ولكنه أيون معقد ذو شحنة تبلغ - 4، وتنتج هذه الشحنة لأن كل ذرة أكسجين تساهم بشحنة تبلغ - 2، بينما تبلغ شحنة ذرة السليكون + 4. وفى الطبيعة، أحد أبسط الطرق لتعادل رباعيات الأسطح هذه، هى إضافة أيونات موجبة الشحنة. وبهذه الطريقة تنتج هياكل بلّورية متعادلة كيميائيا، مشتملة على رباعيات الأسطح متحدة مع أيونات موجبة، فان رباعيات الأسطح نفسها يمكن أن تكوّن عدة هياكل بلّورية. فمثلا تتحد رباعيات الأسطح لتكوّن عقودا منفردة، أو عقودا

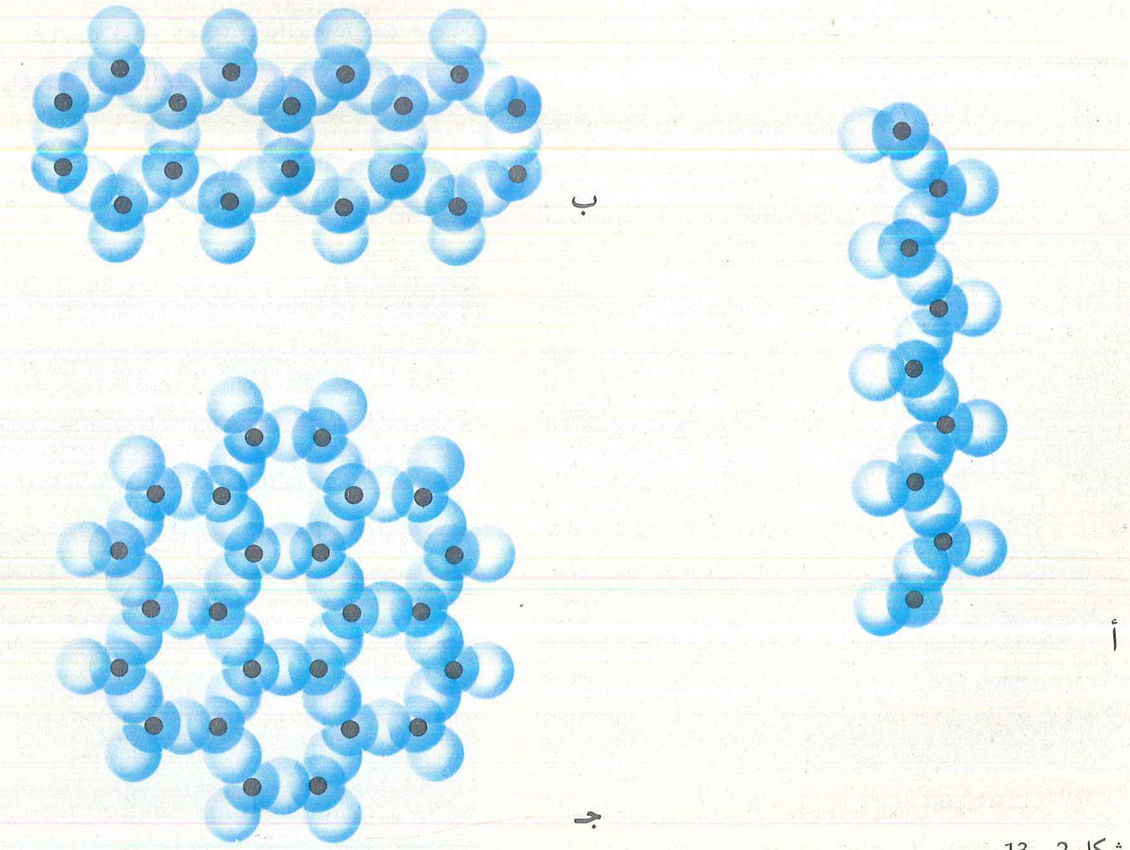


شكل 2 ـ 12

منظر علوى لرباعى الأسطح للسليكون والأكسجين. (أ) ـ تمثل الكرات الكبيرة ذرات الأكسجين، أما الكرة الغامقة فتمثل ذرة السليكون. (ب) ـ رسم توضيحى لرباعى الأسطح باستعمال أربع نقاط لتمثيل ذرات الأكسجين.

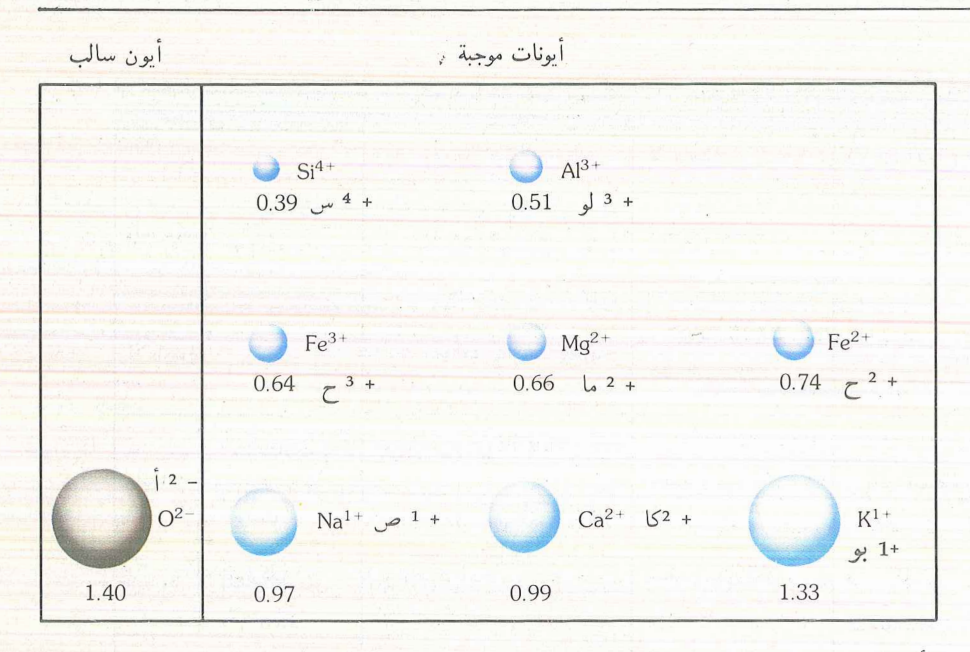
مزدوجة أو صفائحا، كما ترى فى الشكل 2 ـ 13. وينتج عن اتحاد رباعيات الأسطح فى كل هذه الهياكل، اشتراك كل زوج من ذرات السليكون فى ذرات الأكسجين. ولكى تفهم كيف تتم عملية الاشتراك هذه، اختر احدى ذرات السليكون. ففى رباعيات الأسطح المنعزلة توجد أربعة ذرات أكسجين لكل ذرة سليكون، (الكلمات الصغيرة) قرب وسط العقد المنفرد الذى يرى فى الشكل 2 ـ 13. لاحظ أن ذرة السليكون هذه تحيط بها من كل جانب أربعة ذرات أكسجين أكبر منها حجما. ولاحظ أيضا أن اثنين من ذرات الأكسجين الأربع هى متصلة باثنين من ذرات السليكون الأخرى. بينما بقيت ذرتى الأكسجين الأخريين غير مشتركتين مع ذرات سيليكون أخرى. فالاتصال عبر ذرات الأكسجين المشتركة هو الذى يكوّن من رباعيات الأسطح هيكل عقد منفرد. الآن، افحص ذرة سليكون، قرب وسط الهيكل الصفائحى. احص عدد ذرات الأكسجين المشتركة وغير المشتركة التى تحيط بها. فزيادة درجة الاشتراك هى المسئولة عن وجود الهيكل الصفائحى. هذا كما توجد هياكل لسليكات أخرى لم توضح فى الشكل. وأكثر هذه الهياكل وفرة هى التى تكون فيها جميع ذرات الأكسجين مشتركة بحيث ينتج عن ذلك هيكل معقد ذو ثلاثة أبعاد.

ويبدو واضحا منذ الآن أن نسبة ذرات الأكسجين الى ذرات السليكون تختلف فى كل بنية من بنيات السليكات. فمثلا توجد فى كل هيكل رباعى الأسطح أربعة ذرات أكسجين لكل ذرة سليكون. وفى العقد المنفرد، تكون نسبة



شكل 2 ـ 13

ثلاثة أنواع لهياكل السليكات. (أ) ـ عقد منفرد. (ب) ـ عقد مزدوج. (جـ) ـ هيكل صفائحى.



شكل 2 ـ 14

الحجم النسبى والشحنات الكهربائية للأيونات الشائعة فى المعادن المكونة للصخور وفيه نصف القطر الأيونى معبرا عنه بالأنجستروم (حيث واحد انجستروم يساوى 10^{-8} سنتيمتراً).

الأكسجين الى السليكون 3 : 1 أما فى البنية المجسمة فالنسبة تساوى 2 : 1. وبناء على ذلك فانه كلما زاد عدد ذرات الأكسجين المتشاركة فى البنية كلما قلّ عدد ذرات السليكون فيها. ولهذا فانه يمكن تصنيف معادن السليكات بمدى ما تحتويه من سليكا وهذا يعتمد على نسبة الأكسجين الى السليكون. وهذا التفاوت فى محتوى السليكون يعد مهماً جدا كما سنرى فيما بعد عند الحديث عن تكوّن الصخور النارية.

وتعتبر هياكل السليكات هذه مركبات غير مستقرة باستثناء السليكات ذات الهياكل المجسمة. ولهذا فهى تحتاج الى اضافة أيونات فلزية موجبة الشحنة لتصل الى درجة التعادل الكيميائى، شأنها فى ذلك شأن رباعيات الأسطح المنفردة وذلك لترتبط بينها مكونة عدة هياكل بلورية. والأيونات التى عادة ما تربط البنى البلورية للسليكات هى ايونات كل من عناصر الحديد (ح)، والماغنيسيوم (ما)، والبوتاسيوم (بو)، والصوديوم (ص) والألومنيوم (لو) والكالسيوم (كا). لاحظ فى شكل (2 ـ 14) أن كلا من هذه الأيونات الموجبة لها حجم ذرى معين وتحمل شحنة معينة. فالأيونات المتقاربة فى الحجم عادة ما تحل محل بعضها بحرية. فمثلا أيون الحديد ح+2 وأيون الماغنيسيوم ما+2 هما متقاربان فى الحجم الأيونى ولذلك يحل كل منهما محل الآخر دون أى تعديل فى هيكل المعدن. وهذا يسرى على الكالسيوم والصوديوم الذين يمكن أن يشغلا نفس المكان فى الهيكل البلّورى. كما يسرى أيضا على الألومينيوم الذى يحل محل السليكون فى رباعى الأسطح للسليكون والأكسجين.

ونظرا لقدرة الهياكل البلّورية على استيعاب أيونات مختلفة فى أى موقع من مواقع الترابط فان عينات أى معدن قد تحتوى على كميات مختلفة من عناصر معينة. وعادة ما يتم التعبير عن معدن من هذا النوع باستعمال صيغة كيميائية تحتوى على أقواس لفصل المكونات المتنوعة. ومن أحسن الأمثلة معدن الأوليفين (ح،ما)$_2$ س أ$_4$. كما نرى فى هذه الصيغة، فان أيونى الحديد (ح +2) والماغنيسيوم (ما +2) فى معدن الأوليفين هما اللذان يحلان محل بعضهما بحرية. وعند أحد الطرفين يمكن أن يحتوى الأوليفين على الحديد بدون احتوائه على أى ماغنيسيوم (ح $_2$ س أ $_4$)، وعند الطرف الآخر، لا يحتوى الأوليفين اطلاقا على الحديد (ما $_2$ س أ $_4$). وبين هذين الطرفين يحتمل وجود أى نسبة بين الحديد والماغنيسيوم. ولهذا فانه يمكن اعتبار الأوليفين،

المعدن		المعادلة النموذجية	الانفصام	البنية البلورية للسليكات
الأوليفين		(ما، ح)$_2$ س أ$_4$	لا يوجد	رباعي أسطح منفرد
البيروكسين		(ما، ح) س أ$_3$	سطحين متعامدين	سلاسل منفردة
الأمفيبول		(كا$_2$، ما$_2$) س$_8$ أ$_{22}$ (أ يد)$_2$	سطحان يتقابلان عند 6^o و 12^o	سلاسل مزدوجة
مايكا	مسكوفيت	بو لو$_3$ س$_3$ أ$_{10}$ (أ يد)	سطح واحد	ورقات (صفائح)
	بايونيت	بو (ما، ح)$_3$ س$_3$ أ$_{10}$ (أ يد)$_2$		
الفلسبار	أورثوكليز	بو لو س$_3$ أ$_8$	سطحين يتقابلان بزاوية 9^o	تشابك مجسم
	بلاجيوكيز	(كا، ص) لو س$_3$ أ$_8$		
المرو		س أ$_2$	لا يوجد	

شكل 2 ـ 15

معادن السليكات الشائعة. لاحظ أن هيكل السليكات يزداد تعقيدا الى اسفل الجدول.

وعدة معادن سيليكات، على أنها تمثل عائلة من المعادن لها مدى تركيبى بين طرفين ثابتين.

وفى بعض حالات الاحلال، لا تملك الأيونات المتبادلة نفس العدد من الشحنات الكهربائية. فمثلا عندما يحل الكالسيوم (كا$^{+2}$) محل الصوديوم، فان الهيكل يكتسب شحنة موجبة. وفى الطبيعة تتم عملية التبادل باحدى الطرق التى تحافظ فى نفس الوقت على التعادل الكهربائى وهى الاحلال المتزامن لأيونات الألومونيوم (لو$^{+3}$) محل أيونات السليكون (س$^{+4}$). ويتم هذا التبادل المزدوج خاصة فى مجموعة الفلسبار التى تعتبر أكثر عائلات المعادن وفرة فى القشرة الأرضية. والطرفين الثابتين لمجموعة معادن الفلسبار هما معدن الأنورثيت كا لو$_2$ س$_2$ أ$_8$ ، ومعدن الألبيت، ص لو س$_3$ أ$_8$.

معادن السليكات:

يوضح شكل 2 ـ 15، المجموعات الرئيسية لمعادن السليكات وأمثلة لكل منها. وتعتبر مجموعة الفلسبار أكثر هذه المجموعات وفرة بحيث تمثل أكثر من 50 فى المئة من القشرة الأرضية. فمعدن الكوارتز الذى يحتل المرتبة الثانية من حيث الوفرة، هو المعدن الوحيد المركب كليا من عنصرى السليكون والأكسجين.

وبالنظر لشكل 2 ـ 15 تلاحظ أن لكل مجموعة سليكات هيكل معين. وهناك علاقة بين الهيكل الداخلى لكل معدن وبين الانفصام الذى يظهره. وبما ان الترابط بين السليكون والأكسجين قوى جدا فان معادن السليكات تنفصم (تتكسر) بين هياكل السليكون والأكسجين بدلا من انفصامها عبرها. فمثلا يوجد لمجموعة المايكا هيكل صفائحى مما يحملها على الانفصام فى شكل أطباق مسطحة (شكل 2 ـ 9). ومعدن الكوارتز الذى له روابط قوية بين الأكسجين والسليكون فى جميع الاتجاهات، هو خال من الانفصام. وتتكون معظم معادن السليكات عندما تبرد الصخور المنصهرة. ويحدث هذا التبريد عند أو قرب سطح الأرض أو على أعماق كبيرة تحت ضغط ودرجة حرارة مرتفعين

جدا. والعاملان اللذان يقرران الى حد كبير نوع المعدن الناتج هما بيئة التبلّر والتركيب الكيماوى للصخور المنصهرة. فمثلا يتبلّر معدن السليكات المسمى بالأوليفين فى درجة حرارة عالية ويكوّن له بنية كيميائية مستقرة فى درجة حرارة مرتفعة. أما الكوارتز، فهو على العكس من ذلك، حيث يتبلّر فى درجة حرارة أقل بكثير. وتكون بعض معادن السليكات مستقرة فى الظروف السائدة عند سطح الأرض وهى تتكون من نواتج التجوية لمعادن سليكات سابقة الوجود. وهناك معادن سليكات أخرى تتكون تحت أقسى الضغوط التى تصاحب عمليات التحول. ولهذا فان لكل معدن من معادن السليكات بنية بلّورية وتركيب كيميائى تعكس الظروف التى نشأفيها.

ويمكن تقسيم معادن السليكات المختلفة الى مجموعتين على أساس محتواها الكيميائى. فسليكات الحديد والماغنيسيوم هى التى تحتوى على أيونات الحديد والماغنيسيوم فى بنيتها. أما المعادن التى لا تحتوى على هذه الأيونات فتسمى السليكات الخالية من الحديد والماغنيسيوم. وعادة ما يكون لون سليكات الحديد والماغنيسيوم غامقا ويتراوح ثقلها النوعى بين 3.2 و 3.6. وبالمقارنة فان السليكات الخالية من الحديد والماغنيسيوم تكون عادة فاتحة اللون ويبلغ متوسط ثقلها النوعى 2.7 وتعزى هذه الفروق رئيسيا الى محتواها من الحديد.

سليكات الحديد والماغنيسيوم:

الأوليفين: يوصف على أنه معدن سليكات يتكون أثناء حرارة مرتفعة وله لون أسود الى أخضر زيتونى، وله بريق زجاجى ومكسر محّارى. وبدلا من أن يكوّن الأوليفين بلّورات كبيرة فان بلّوراته صغيرة حبيبة المظهر. ويتألف الأوليفين أساسا من رباعيات الأسطح المنفردة والمترابطة مع بعضها البعض بواسطة خليط من أيونات الحديد والماغنيسيوم بحيث أنها تربط بين ذرات الأكسجين. وبما أن البنية المجسمة المتكونة بهذه الطريقة لا تكون ترابطاتها صفا واحدا فان الأوليفين عديم الانفصام.

البيروكسين: يوصف البيروكسين على أنه معدن سليكات أسود معتم وله انفصام فى اتجاهين يتقابلان بزاوية تبلغ حوالى 90°. أما بنية البيروكسين فتتكون من عقود منفردة من رباعيات الأسطح مترابطة مع بعضها بأيونات من الحديد والماغنيسيوم. وللبيروكسين انفصام مواز لاتجاه العقد حيث أن روابط السليكون مع الأكسجين هى أقوى من الروابط التى تصل بين عقود السليكات. والبيروكسين هو أحد المعادن السائدة فى البازلت، الذى هو صخر شائع فى القشرة المحيطية كما انه موجود أيضا فى المناطق البركانية فوق القارات.

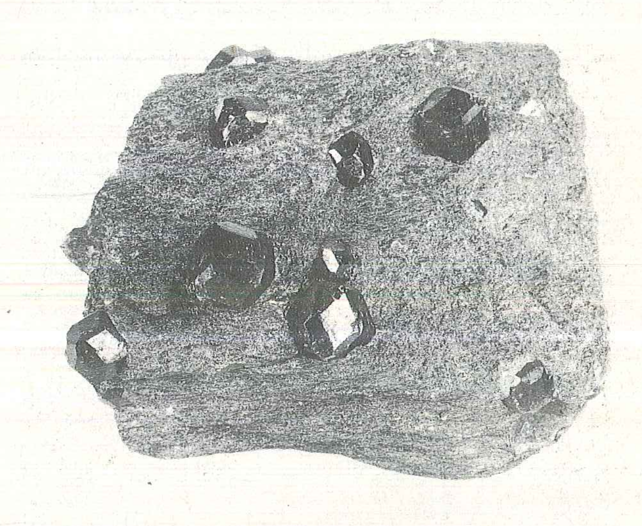
الهرنبلند: الهرنبلند هو أكثر المعادن انتشارا فى مجموعة المعادن معقدة التركيب الكيميائى وهى المسماة بالامفيبولات. وللأمفيبول عادة لون أخضر غامق الى أسود؛ وهو يشبه البيروكسين فى جميع الصفات ما عدا زوايا أوجه الانفصام، فهى تقارب 60° و 120°، (شكل 2 ـ 16). وازدواج عقود رباعى الأسطح فى الهرنبلند هو المسئول عن نوع الانفصام الذى يخصه. وفى الصخور يكوّن الهرنبلند بلّورات طويلة. وهذا يساعد على تمييزه من البيروكسين الذى تكوّن بلّوراته أبعادا شبه متساوية.

البايوتيت: هو أحد معادن المايكا غامقة اللون الغنية بالحديد. ومثل معادن المايكا الأخرى فهو يمتلك هيكلا صفائحيا يعطيه انفصاما ممتازا فى اتجاه واحد. وللبايوتيت أيضا مظهر أسود لماع يساعد على تمييزه من بين معادن الحديد والماغنيسيوم الأخرى. والبايوتيت هو مثل الهرنبلند فى تواجده كمكون شائع للصخور القارية بما فى ذلك صخور الجرانيت.

الجارنيت: يشبه الجارنيت معدن الأوليفين فى بنيته البلّورية التى تتألف من رباعيات الأوجه المنفردة وفى بريقه الزجاجى وانعدام الانفصام فيه وطبيعة مكسره المحّارى. وعادة ما تتنوع ألوان الجارنيت الا ان أكثرها شيوعا هو

~90°
منظر طرفى
لعقد منفرد
~90°
أ ـ بيروكسين
~120°
منظر جانبى لعقد مزدوج
~60°
ب ـ هورنبلند

شكل 2 ـ 16
زوايا الانفصام فى البيروكسين والهرنبلند (أمفيبول).



شكل 2 ـ 17
بلورات معدن الجارنيت فى صخر متحول.

اللون البنى الى الأحمر القانى. وللجارنيت بلّورات متساوية الأبعاد، وهى التى تتواجد عادة فى الصخور المتحولة (شكل 2 ـ 17). وفى الحالات التى يتكون فيها الجارنيت على هيئة بلورات شفافة، يمكن اقتناؤه كأحجار كريمة.

سليكات غير الحديد والماغنيسيوم

الموسكوفيت: هو أحد معادن المايكا الشائعة، وهو ذو لون شفاف وبريق لؤلؤى. وللموسكوفيت انفصام جيد فى اتجاه واحد مثل معادن المايكا الأخرى. وتبدو الألواح الرقيقة من الموسكوفيت شفافة مما مكّن من استعمالها كزجاج للنوافذ فى القرون الوسطى. نظرا لما للموسكوفيت من لمعان فمن السهل جدا التعرف عليه فى الصخور التى يحتويها، فلو

نظرت مرة الى رمال الشواطىء للاحظت أن لبعض حبيباتها لمعانا متلألأ يمكن تمييزها عن الحبيبات الأخرى.

الفلسبار: هو أكثر المجموعات المعدنية تواجدا ويتكون تحت ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة، وهذا ما يفسر ظاهرة انتشاره. ولجميع معادن الفلسبار خصائص طبيعية متشابهة. فللفلسبار انفصام فى اتجاهين يكونان زاوية تقارب 90° وجميع معادنه صلبة، اذ تصل صلابتها الى 6 على مقياس موهو، ولها بريق بين الزجاجى واللؤلؤى. ويمكن التعرف على بلّوراته كمعدن أساسى فى الصخور بواسطة شكلها المتعامد الأوجه وكذلك أسطحها الناعمة واللماعة (شكل 2 ـ 18).

ولمعادن الفلسبار بنية مجسمة تتكون من اشتراك ذرات السليكون المتجاورة مع ذرات الأوكسجين. وهذا بالاضافة الى أن ربع الى نصف ذرات السليكون يمكن أن تحل محلها ذرات الألومنيوم فى الفلسبار، والفرق الناتج عن الشحنة بين الألومنيوم ($^{+3}$) والسليكون ($^{+4}$)، يمكن التعويض عنه بادخال واحد أو أكثر من الأيونات الآتية الى البنية المتشابكة للبلورة: البوتاسيوم ($^{+1}$)، الصوديوم ($^{+1}$)، والكالسيوم ($^{+2}$). ونظرا لكبر حجم أيون البوتاسيوم بالنسبة لحجم أيونيى الصوديوم والكالسيوم، فانه يوجد نوعان فقط من البنيات البلّورية للفلسبار. فلسبار الأرثوكليز وهو أكثر مجموعة معادن الفلسبار انتشارا وهى تحتوى على البوتاسيوم فى هيكلها البلّورى والمجموعة الأخرى تسمى فلسبار البلاجيوكليز التى تحتوى على أيونات الصوديوم والكالسيوم والتى تحل محل بعضها. بحرية حسب البيئة التى تبلّرت فيها.

ويتراوح لون فلسبار الأرثوكليز عادة بين لون القشطة الخفيف واللون القرنفلى الفاتح. ومن جهة أخرى، يتراوح لون فلسبار البلاجيوكليز بين الأبيض والرمادى المتوسط ولكن يجب عدم الاعتماد على اللون فى التفريق بين معادن الفلسبار. والطريقة الوحيدة المضمونة للتفريق الظاهرى بين معادن الفلسبار هى البحث عن تجمع هائل من الخطوط الرفيعة المتوازية المساة الحزات. وهى موجودة على بعض أسطح البلاجيوكليز ولكنها ليست موجودة فى الأرثوكليز (شكل 2 ـ 19).

الكوارتز: هو معدن السليكات الوحيد الذى يحتوى على الأكسجين والسليكون فقط ولهذا فهو يسمى عادة بالسليكا التى لها الرمز الكيميائى س أ2. ففى معدن الكوارتز تتكون هيئة مجسمة متكاملة عن طريق المشاركة التامة لذرات



شكل 2 ـ 18

عينات من معدن الفلسبار.



شكل 2 ـ 19

تسمى هذه الخطوط المتوازية حزات، وهى علامات مميزة لفلسبار البلاجيوكليز.

الأكسجين ($أ^{-2}$) من قبل ذرات السليكون ($س^{+4}$) المتجاورة، ولهذا فان جميع الروابط فى معدن الكوارتز هى من نوع سليكون = أكسجين القوية. ولهذا فمعدن الكوارتز يظهر صلابة خاصة لمقاومة التآكل وليس له انفصام. وعند كسره فانه يظهر مكسرا محّاريا. وفى حالته النقية يكون الكوارتز شفافا، واذا ترك ليتبلّر دون تدخل، فانه يشكل بلّورات سداسية ذات أطراف هرمية الشكل، (أنظر الصورة فى افتتاحية هذا الفصل). وكغيره من المعادن الشفافة، فان الشوائب تعطيه ألواناً مختلفة. وهو يشكل فى هيئات تفتقد الى الأوجه البلّورية المتكاملة. ومن أكثر أنواع الكوارتز تواجدا، النوع الحليبى (أبيض) والدخانى (رمادى) والوردى (قرنفلى) والأماثيست (أرجوانى).

الطفلة : تدل هذه التسمية على معادن معقدة التركيب تشبه المايكا فى بنيتها الصفائحية. ومعادن الطفلة عادة ما تكون دقيقة الحبيبات ولا يمكن دراستها الا مجهريا. وتنشأ معظم معادن الطفلة نتيجة للتجوية الكيميائية لمعادن السليكات.

جدول 2 ـ 3 بعض مجموعات المعادن اللاسلكيات الشائعة

المجموعة	المعدن	الرمز الكيميائى	الاستعمال الاقتصادى
الأكاسيد	هياتيت	ح $_2$ أ $_3$ Fe_2O_3	خام للحديد
	ماغنيتيت	ح $_3$ أ $_4$ Fe_3O_4	خام للحديد
	كوراندم	لو $_2$ أ $_3$ Al_2O_3	يستعمل للصنفرة
	ثلج	يد $_2$ أ H_2O	الماء المتجمد
الكبريتيدات	جالينا	ر كب PbS	خام للرصاص
	سفاليريت	ر كب ZnS	خام للخارصين
	بايريت	ح كب $_2$ FeS_2	الذهب المستعار
	كالكوبايريت	نح ح كب $_2$ $CuFeS_2$	خاص للنحاس
	الأنهايدريت	كا كب أ $_4$ $CaSO_4$	يستعمل فى البناء
العناصر المنفردة	الذهب	ذ Au	
	النحاس	نح Cu	
	الماس	ك C	
	الكبريت	كب S	
	الحجرافيت	ك C	
الهاليدات	هاليت	ص كل $NaCL$	ملح الطعام
	فلوريت	كا فل $_2$ CaF_2	يستعمل فى صناعة الصلب والمواد الكيميائية والخزف
الكربونات	كالسيت	كا ك أ $_3$ $CaCO_3$	ترابة بورتلالأد
	دولوميت	كا ما (ك أ $_3$) $Camg(CO_3)_2$	ترابة بورتلاند
	مالاكيت	نح $_2$ (أ يد) $_2$ ك أ $_3$ $Cu_2(OH)_2CO_3$	خام للنحاس

الأخرى ولهذا فان معادن الطفلة تحتل نسبة كبيرة من المكونات السطحية التى نسميها بالتربة. ونظرا لأهمية التربة فى الزراعة وفى أساسات المبانى فان معادن الطفلة مهمة جدا بالنسبة للانسان.

معادن اللاّسليكات

وبالرغم من أنه يمكن اعتبار المجموعات المعدنية الأخرى نادرة اذا ما قورنت بالسليكات، فان كثيرا منها يعتبر ذا أهمية من الناحية الاقتصادية. ويبين الجدول رقم 2 ـ 3 بعض الأمثلة من الأكاسيد والكبريتيدات والكبريتات والهيليدات والعناصر المنفردة التى لها قيمة اقتصادية. وفيما يلى مناقشة لبعض المعادن المكونة للصخور من غير السليكات.

مجموعة الكربونات هى أبسط من مجموعة السليكات فى هيكلها البلّورى وتتكون هذه المجموعة المعدنية من أيون الكربونات المركب (ك $أ_3^{-2}$) وواحد أو أكثر من الأيونات الموجبة. وأكثر معادن هذه المجموعة انتشارا هما معدن الكلسيت (كاك $أ_3$) ، ومعدن الدولوميت كاما (ك $أ_3)_2$. ولتشابه هذين المعدنين طبيعيا وكيميائيا فانه من الصعب التفريق بينهما. فكلاهما له بريق زجاجي، وصلابته تتراوح بين 3 و 4، وله انفصام معينى شبه متكامل. غير أنه يمكن التفريق بينهما باستعمال حامض الهيدروكلوريك المخفف، اذ يتفاعل معدن الكلسيت بشدة مع هذا الحامض، بينما لا يتفاعل معدن الدولوميت معه، الا اذا كان مسحوقا. ويتواجد كل من الكلسيت والدولوميت جنبا الى جنب كمعدنين أساسيين فى الصخور الرسوبية من نمط الحجر الجيرى والدولوميت. فعندما يغلب تواجد معدن الكلسيت يسمى الصخر حجرا جيريا بينما يسمى الصخر حجرا دولوميتيا عندما يغلب معدن الدولوميت. وللحجر الجيرى عدة استعمالات اقتصادية من بينها استعماله فى رصف الطرق وفى البناء وكمادة أساسية فى صناعة الترابة.

وهناك معدنان آخران يكثر تواجدهما فى الصخور الرسوبية، هما الهاليت والجبس، وكلاهما موجود فى طبقات سميكة هى بقايا لبحار قديمة كانت قد تبخرت. فالهاليت هو الاسم المعدنى لملح الطعام المعروف (ص كل) أما معدن الجبس (كا كب $أ_4$ 2 يد$_2$ أ) فهو المادة التى يستمد منها مسحوق الجبس ومواد أخرى تستعمل فى البناء.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ اذكر تعريفا مبسطا للصخور.

2 ـ أذكر الأجزاء الثلاث المكونة للذرة وبين كيف يختلف كل منها عن الآخر.

3 ـ اذا كان عدد الالكترونات فى ذرة ما 35 ووزنها الذرى 80 ، فاحسب الآتى:

أ ـ عدد البروتونات.

ب ـ العدد الذرى.

جـ ـ عدد النيوترونات.

4 ـ ما هى قاعدة الثمانية؟ وما أهمية الكترونات التكافؤ ؟

5 ـ فرّق باختصار بين الترابط الأيونى والترابط التساهمى؟

6 ـ ماذا يحدث فى الذرة لتصبح أيونا؟

7 ـ ما هو النظير الذرى؟

8 ـ مع أن ذرات المعادن تكون هيكلا داخليا منتظما (البنية البلّورية) الا ان معظم المعادن لا تظهر على هيئة بلّورية واضحة. لماذا؟

9 ـ لماذا يصعب التعرف على المعادن من لونها؟

10 ـ لو عثرت على معدن زجاجى المظهر أثناء رحلة لتجميع الصخور ولديك الأمل بأنه يحتمل أن يكون ماسا. ما هو الاختبار البسيط الذى يساعدك على التعرف عليه؟

11 ـ اشرح استعمال الكوراندم كما يظهر فى الجدول (2—3) بالنسبة لسلم موهـو للصلابة.

12 ـ الثقـل النوعـى للذهـب يسـاوى حوالى 20 ، فاذا كان وعـاء من الماء حجمه 25 لترا، ووزنه 25 كيلوجراما، فما هو وزن وعاء مملوء بالذهب يتسع لـ 25 لترا؟

13 ـ ما الفرق بين السليكون والسليكات؟

14 ـ ما هى الخصائص المشتركة لمعادن سليكات الحديد والماغنيسيوم؟ أذكر بعض الأمثلة لهذه المعادن؟

15 ـ فيم يشترك البايوتيت والموسكوفيت، وفيم يختلفان؟

16 ـ هل يمكن استعمال اللون للتفريق بين الأرثوكليز والبلاجيوكليز؟

ما هى أحسن طريقة للتفريق بين أنواع الفلسبار؟

17 ـ تصف كل من الجمل الآتية معدن سليكات أو مجموعة معادن، أذكر اسم المعدن المناسب فى كل حالة:

أ ـ أكثر معادن الأمفيبول تواجدا.

ب ـ المعدن الشائع من معادن المايكا من غير معادن الحديد والماغنيسيوم.

جـ ـ معدن السليكات الوحيد المحتوى كليا على السليكون والأكسجين.

د ـ معدن سليكات يتكون فى درجة حرارة مرتفعة واسمه مستمد من لونه.

هـ ـ المعدن الذى له حزات.

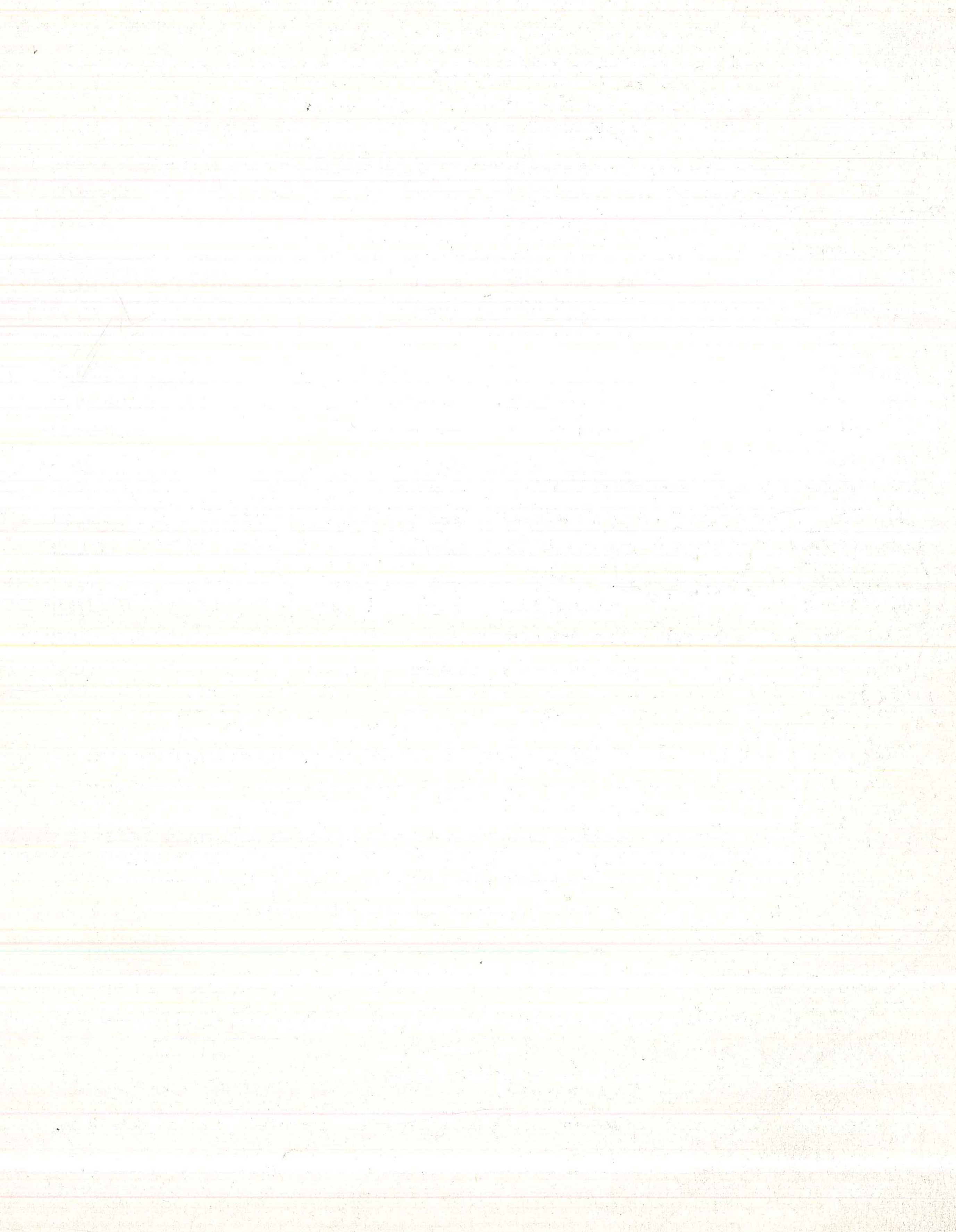
و ـ معدن ينشأ عن التجوية الكيميائية.

18 ـ ما هو الاختبار البسيط للتفريق بين معدن الكالسيت ومعدن الدولوميت؟

الكلمـات الـدالـة :

الالكترون	electron
الانفصام	cleavage
الأيون	ion
البروتون	proton
البريق	luster
التصدع	fracture
الترابط التساهمى	covalent bond
الترابط الفلزى	metallic bond
الترابط الأيونى	ionic bond
الـذرة	atom
الشكل البلّورى	crysal form
الصخور	rock
الصلابة	hardness
اللـون	color
المخدش	streak
المركب	compound
المعدن	mineral

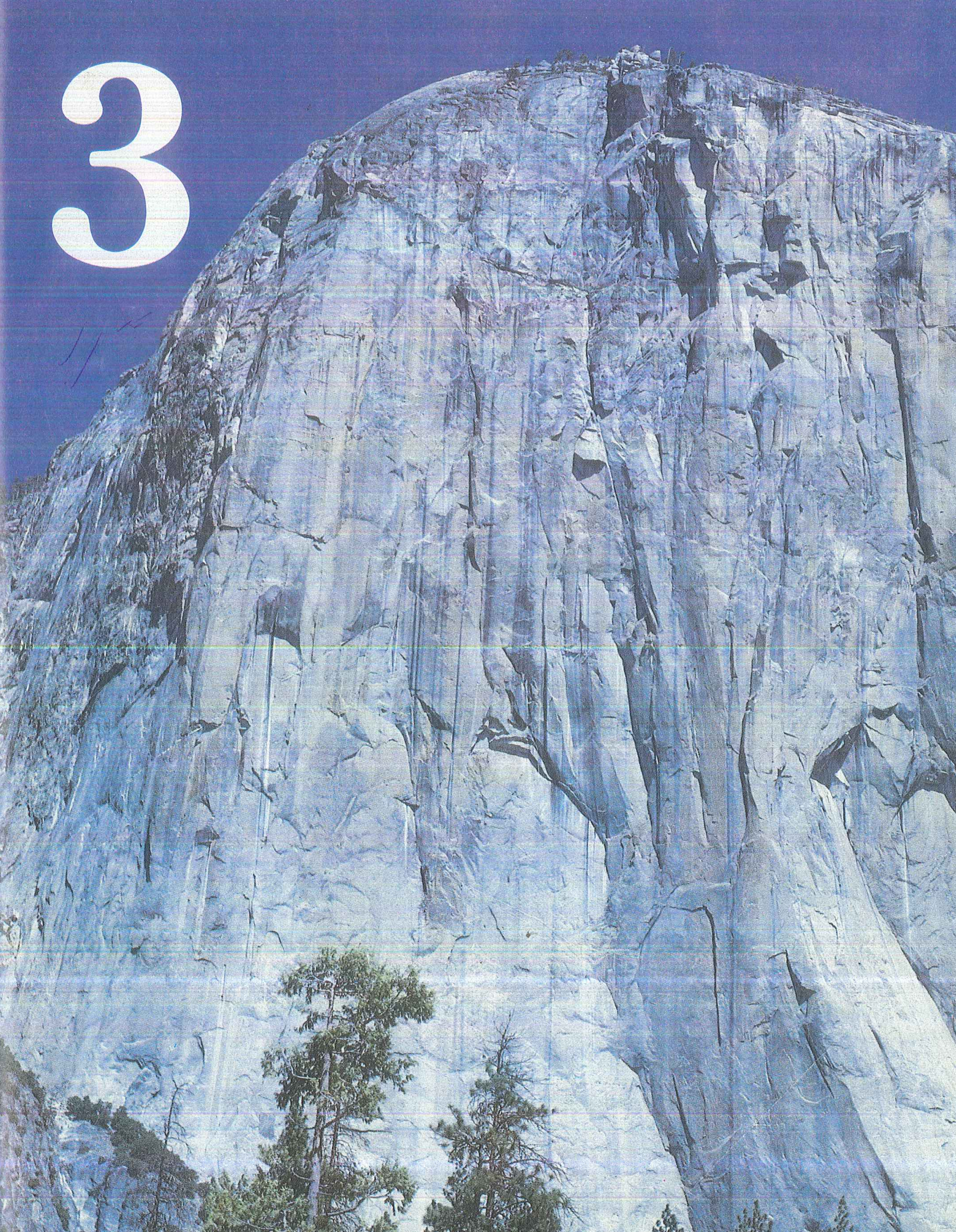
النشاط الاشعاعى	radioactivity
النظير	isotope
النـواة	nucleus
النيوترون	neutron
العدد الذرى	atomic number
العنصر	element
قاعدة الثمانية	octet rule
الوزن الذرى	atomic weight
الوزن النوعى	specific gravity
الكترون التكافؤ	valence electron
تعدد الأشكال البلّورية	polymorphism
رباعى الأسطح للسليكون والأكسجين	silicon-oxygen tetraheron
سلم موهو	Mohs scale
مسارات مستويات الطاقة	energy-level shell energy
معادن السليكات	silicate minerals
عدد الكتلة	mass number
وحدة الكتلة الذرية	atomic mass unit



3



الصخور النَّارية


3

تبلّر الصهير.

النسيج النّارى.

التركيب المعدنى.

تسمية الصخور النّارية:

- الصخور الجرانيتية
- الصخور الأنديسيتية
- الصخور البازلتية
- الصخور الفلذبركانية

تواجد الصخور النّارية:

- طبيعة البلوتونات
- توضع الباثوليت

فى سياق مناقشتنا لدورة الصخور، أشرنا الى أن الصخور النّارية تنشأ عندما يبرد الصهير ويتبلّر. هذا الصخر المنصهر الذى ينشأ فى أعماق تصل الى 200 كيلومتر بباطن الأرض يتكون أساسا من العناصر الموجودة فى معادن السليكات مع بعض الغازات التى من أهمها بخار الماء والذى يبقى داخل الصهير بفعل الضغط فى الصخور التى تحتويه. فمحتوى الصهير الذى هو أخف من الصخور المحيطة به سرعان ما يصعد الى السطح وفى بعض الحالات يندفع فوق السطح مكونا فورانات بركانية (شكل 3 ـ 1). فالانفجارات المدهشة التى تصحب اندلاع البراكين فى بعض الأحيان تنتج عن الغازات (الطيارة) الهاربة من جراء انخفاض الضغط المكبوت قرب سطح الأرض. وفى بعض الأحيان، قد يسبب انسداد الفوهة أو تسرب المياه الى غرفة الصهير فى انفجارات مريعة. فالى جانب فلذ الصخور المقذوفة، قد ينتج عن اندلاع البراكين طفوح منتشرة من اللابة. وتشبه اللابة الصهير، الا أن معظم غازاتها قد تسربت. وتصنف الصخور الناتجة عن تصلب الحمم تحت اسم الصخور النابطة أو الصخور البركانية. أما الصهير الذى لا يتمكن من الوصول الى السطح، فانه حتما سيتبلّر فى الأعماق. وتصنف الصخور النارية الناتجة بهذه الطريقة تحت اسم الصخور المقتحمة أو البلوتونية، بمعنى جوفية. ولربما كان من المستحيل معاينة هذه الصخور على سطح الأرض اذا لم تعمل عوامل التعرية على ازالة الصخور التى فوقها.

صخور نارية متكشفة عند منتزه يوسيميتي.

تبلّر الصهير

بما أن الصهير هو سائل ساخن، فان أيوناته تتحرك بحرية ويمكن أن يقال بأنها غير منتظمة. وعندما تبرد هذه الأيونات فان حركتها العشوائية تتباطأ وتبدأ فى ترتيب نفسها فى أشكال منتظمة. وتسمى هذه العملية بالتبلّر. وقبل أن نتعرض لعملية التبلّر بتفصيل أكثر، دعنا نتفحص أولا كيف ينصهر جسم بلّورى بسيط اذ تترتب الأيونات فى الجسم البلّورى على هيئة منظمة متراصة ولكنها لا تخلو من الحركة. فهى تظهر تذبذبا محدودا حول نقطة ثابتة. وعندما ترتفع درجة الحرارة تزداد سرعة تذبذب الأيونات، وفى النهاية تصطدم ببعضها البعض بقوَة متزايدة. ويحمل استمرار التسخين الأيونات على شغل حيّز اضافى من الفراغ. وينتج عن ذلك تمدد الجسم الصلب ومن ثمَّ زيادة المسافات بين أيوناته، وعند نقطة الانصهار تكون الأيونات متباعدة ومتذبذبة الى الحد الذى يجعلها تتغلب على قوة الارتباط الكيميائى التى كانت تصل بينها. وفى هذه المرحلة تكون الأيونات قادرة على اجتياز بعضها البعض مدمرة البنية البلّورية المنتظمة. وبذا يصبح الصلب سائلا مكونا من أيونات غير منتظمة تسبح عشوائيا.

أما فى عملية التبلّر فيحدث بالتبريد عكس ما يحدث بالتسخين. فبينما يبرد السائل تقترب الأيونات من بعضها وتفقد حرية الحركة. وعندما يصل التبريد حدا كافيا تحد قوة الترابط الكيميائى من حركة الذرات وتجبرها على الانتظام فى بنية بلورية. ولا تتصلب عادة كل المواد المنصهرة فى آن واحد بل تكوّن عدة مراكز بلورية. وبطريقة منتظمة تضاف أيونات جديدة الى مراكز النمو البلورى هذه. وعندما تكبر

البلورات وتتقابل حوافها يتوقف نموها ويبدأ التبلّر فى مواقع أخرى. وفى النهاية يتصلب كل الصهير الى كتلة من البلورات المتماسكة (شكل 3 ـ 2).

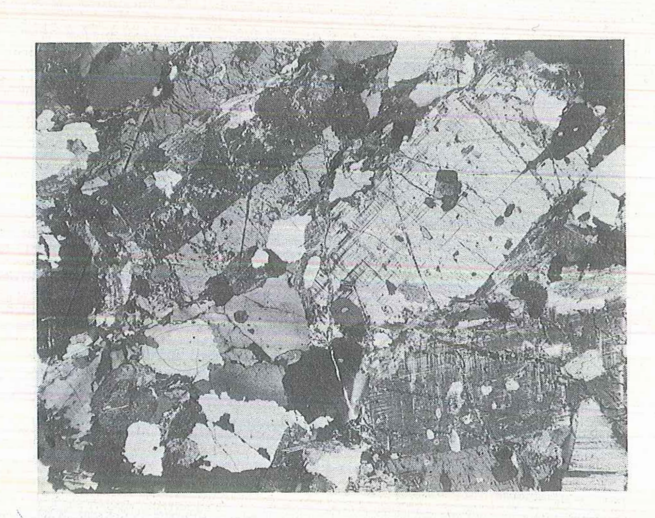
ويؤثر معدل التبريد بوضوح على عملية التبلّر وعلى الأخص، فى حجم البلورات. وتتكون مراكز بلورية قليلة نسبيا عندما يبرد الصهير ببطء شديد. فالتبريد البطىء يعطى وقتا كافيا لوصول الأيونات الى هذه المراكز من مواقع بعيدة نسبيا. ولهذا فان التبريد البطىء ينتج عنه بلورات كبيرة نسبيا. ومن ناحية أخرى، فان الأيونات تفقد حركتها وتتصل ببعضها بسرعة عندما يبرد السائل بسرعة مما ينشأ عنه عدد كبير من مراكز التبلر التى تتنافس على اقتسام الأيونات المتوفرة مما ينتج عنه تكون كتلة صلبة من البلورات المتماسكة الصغيرة جدا فى حجمها. أما عندما تتجمد المادة المنصهرة فى لحظات فان الوقت لا يتسع لترتيب الأيونات فى هيئة بلورية. وتتكوّن الأجسام الصلبة الناجمة عن ذلك من أيونات موزعة عشوائيا. وتسمى الصخور غير المنتظمة الذرات بالزجاج وهى تشبه تماما الزجاج العادي الذي يصنعه الانسان.

فتبلّر الصهير، رغم كونه معقدا، يحدث بطريقة مشابهة للتى تم وصفها آنفا. فهو لا يتكون فقط من عنصر أو عنصرين مختلفين بل تتركب معظم أنواع الصهير من العناصر الثمانية التى تعتبر مكونات أساسية لمعادن

شكل 3 ـ 1

بركان باريكوتين بعد أشهر من ولادته.





شكل 3 ـ 2
صورة دقيقة لبلورات متشابكة فى صخور نارية خشنة الحبيبات.

السليكات. وتشمل هذه العناصر السليكون والأكسجين والألومنيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والحديد والماغنيسيوم. وبالاضافة الى ذلك توجد فى الصهير كميات ضئيلة من عناصر أخرى الى جانب مواد طيارة، منها على الأخص بخار الماء وثانى أكسيد الكربون. فالمادة المتطايرة تتواجد عادة على الحالة الغازية فى حالات الضغط والحرارة السائدتين على سطح الأرض.

وعندما يبرد الصهير يتحد السليكون مع الأكسجين ليكوّن رباعى الأسطح للسليكون والأكسجين. وعندما يستمر التبريد تتحد رباعيات الأسطح هذه مع أيونات أخرى لتكوّن نوى لعدة معادن من السليكات. وتنمو كل نواة بلورية باضافة الأيونات الى نواة البنية البلورية واحدة بعد الأخرى فى شكل منتظم. ولكن المعادن المتبلرة من الصهير لا تنشأ عادة فى آن واحد ولا تحت ظروف واحدة. وكما سنرى أن بعض المعادن تتبلر فى درجات حرارة أعلى من تلك التى تتبلر فيها معادن أخرى. ولهذا فان الصهير عادة ما يتكون من بلورات صلبة محاطة بمواد منصهرة. ورغم ذلك فان الصهير سيتحول فيما بعد الى جسم متبلر مكون من عدة حبيبات معدنية متماسكة.

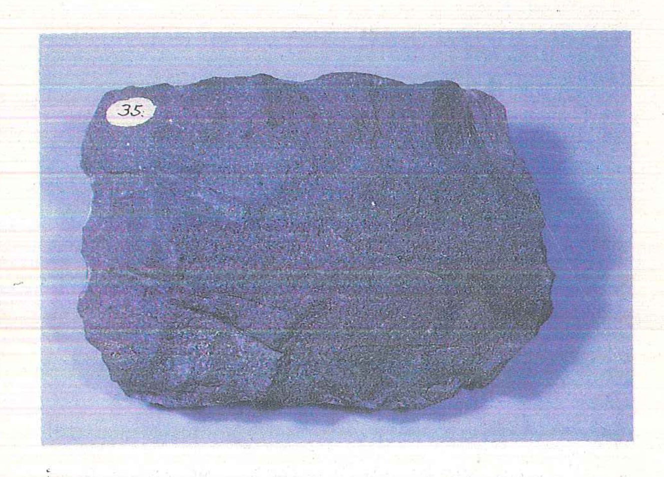
وبالاضافة الى معدل التبريد، يؤثر التركيب المعدنى للصهير وكذلك المواد المتطايرة فيه على عملية التبلر. وحيث أن الصهير يتفاوت فى كل من هذه المعطيات فان المظهر الطبيعى والتركيب المعدنى للصخور النارية يتنوع على نطاق واسع. ورغم ذلك بالامكان تصنيف الصخور النارية حسب الحالة التى نشأت عليها وحسب محتواها المعدنى. ويمكن استنباط بيئة التبلر من حجم وترتيب الحبيبات المعدنية، وتسمى هذه الخاصية بالنسيج. ولهذا عادة ما تصنف الصخور النارية على أساس نسيجها وتركيبها المعدنى. وسوف نعالج كلا من هاتين الصفتين فى الأجزاء القادمة.

النسيج النارى

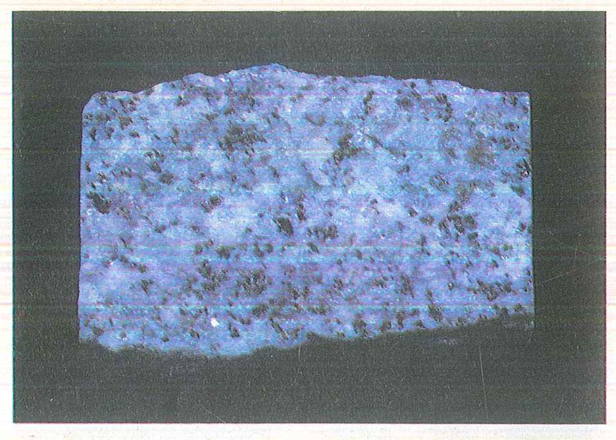
فكلمة نسيج تعنى بالنسبة للصخور النارية وصف المظهر الكلى للصخر حسب حجم وترتيب بلوراته المتماسكة (شكل 3 ـ 3). ويعتبر النسيج خاصية مهمة جدا لأنه يوضح الكثير عن البيئة التى نشأ فيها الصخر. ويمكن للجيولوجيين عن طريق هذه الحقيقة أن يستقرأوا نشأة الصخور حتى أثناء الدراسة الحقلية حيث لا تتوفر الأجهزة المعقدة.

ومن أهم العوامل التى تؤثر فى نسيج الصخور هي معدل برودة الصهير. وقد فهمنا من خلال مناقشتنا للتبلر أن التبريد السريع ينتج بلورات صغيرة بينا ينتج التبريد البطىء بلورات أكبر حجما. ومن البديهى أن يكون معدل التبريد بطيئا حتما فى غرف الصهير الواقعة فى أعماق القشرة الأرضية، بينا تتصلب طبقة رقيقة من لابة نابطة فى غضون ساعات فوق سطح الأرض. كما تتصلب القطع الصغيرة المقذوفة فى الهواء فى لحظات خلال الاندفاع الشديد للبراكين.

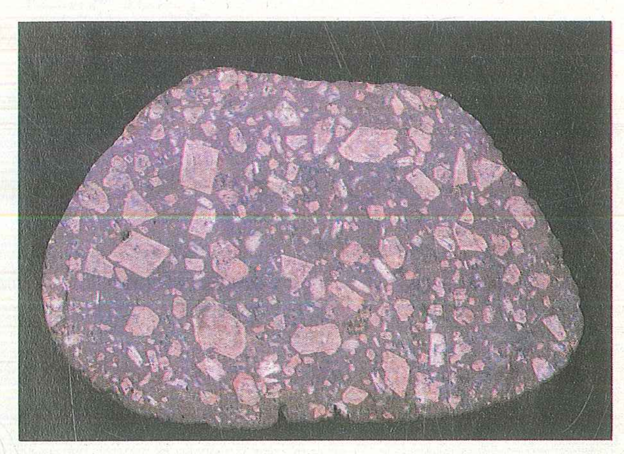
وللصخور النارية التى تتكون عند سطح الأرض أو على شكل كتل صغيرة فى الجزء العلوى من القشرة عادة نسيج صغير الحبيبات يسمى النسيج الدقيق. وكتعريف



أ



ب



جـ



د

شكل 3 ـ 3

نسيج الصخور النارية. (أ) ـ نسيج دقيق. (ب) ـ نسيج خشن. (جـ) ـ نسيج متباين. (د) ـ نسيج زجاجي.

عملي، فان للصخور ذات النسيج الدقيق حبيبات دقيقة جدا لا يمكن التعرف على المعادن المكونة لها بالعين المجردة (شكل 3 ـ 3 أ). ورغم أنه لا يمكن تحديد المعادن المكونة للصخور ذات النسيج الدقيق، الا أنه يمكن تصنيفها الى صخور ذات لون فاتح أو متوسط أو غامق. وباستعمال هذه الطريقة للتصنيف نجد الصخور ذات اللون الفاتح هى تلك المتكونة من معادن سليكات غير الحديد والماغنيسيوم فاتحة اللون بصورة رئيسة، وهكذا.

ومن المناظر المألوفة بعدد كبير من الصخور دقيقة الحبيبات أن بها فراغات ناشئة عن تسرب الغازات منها (شكل 3 ـ 4). وهذه الفتحات الكروية أو ذات الاستطالة تسمى حويصلات، وهى مقصورة على الجزء الخارجى من

بالبلورات الموروثة (بلوثة) بينما يسمى هلام البلورات الدقيقة بالكتلة الأساسية. ويسمى الصخر الذى يتصف بهذا النسيج بالصخر ذى النسيج المتباين.

وأثناء اندلاع البراكين، تقذف الصخور المنصهرة الى الجو حيث تبرد بسرعة. وبهذه الطريقة تكتسب الصخور المتكونة نسيجا زجاجيا. وكما تمت الاشارة اليه، فان الزجاج يتكون عندما لا تعطى الأيونات وقتا كافيا لتتحد وتكوّن بنية بلورية مرتبة. فالنوع الشائع من الزجاج الطبيعى المسمى أوبسيديان يشبه فى مظهره أى شظفة زجاج غامقة من صنع الانسان (شكل 3 ـ 3 د).

ورغم أن معدل التبريد يعتبر العامل الرئيسى الذى يحدد نسيج الصخور، الا أن هناك عوامل أخرى قد تلعب دورا هاما أيضا. وعلى الأخص المحتوى المعدنى للصهير فهو قد يؤثر فى النسيج الناتج. فمثلا صهير البازلت السائل عادة ما ينتج عنه صخور دقيقة النسيج عندما يبرد بسرعة أثناء الجريان الرقيق للابة. وتحت نفس الظروف فان صهير الجرانيت الذى هو كثيف نسبيا (يقاوم الجريان)، هو الذى يكون أقرب لانتاج صخور ذات نسيج زجاجى. ولهذا فان معظم الطفوح اللابية المكونة من الزجاج البركانى هى فى الحقيقة ذات محتوى معدنى جرانيتى. ومع ذلك فالطفوح البركانية النابطة فى مياه البحر قد يتصلب سطحها بسرعة مكونا غطاء زجاجيا. وعلاوة على ذلك فان قطع الرماد الصغيرة ذات التركيب البازلتى عادة ما تبرد بسرعة كافية لينتج عنها نسيج زجاجى.

وتتكون بعض الصخور النارية من تصلب الفلذ الصخرية التى تقذف أثناء الفوران العنيف للبراكين، وقد ينتج عن هذه القطع المقذوفة رماد دقيق أو كتل منصهرة أو قطع كبيرة مزواة منسلخة من جدران الفوهة أثناء الفوران. وتوصف الصخور النارية المكونة من هذه القطع الصخرية بأن لها نسيجا فلذ بركانيا بدلا من البلورات المتماسكة.

ومن أنواع الصخور الفلذبركانية الشائعة، صخر يحتوى على شظايا زجاجية على هيئة خيوط رقيقة بقيت ساخنة خلال تطايرها ثم تلتحم فيما بعد مع بعضها عند الاصطدام. والنوع الآخر من الصخور الفلذبركانية يتكون من قطع تصلبت قبل الالتحام ثم التصقت مع بعضها فيما بعد. وبما أن الصخور الفلذبركانية مكونة من قطع منفصلة، فان خصائصها النسيجية العامة عادة ما تكون أقرب الى الصخور الرسوبية منها الى الصخور النارية.

التركيب المعدنى

إنّ الذى يحدد التركيب المعدنى للصخور النارية هو فى النهاية التركيب الكيميائى للصهير الذى يتبلر منه. وان مثل هذا التنوع فى الصخور النارية لا بد أن يفسر منطقيا بافتراض وجود أنواع مختلفة من الصهير. ولكن الجيولوجيين اكتشفوا أن هناك مراحل مختلفة للاندفاع من نفس البركان وكل منها يأتى بلابة نابطة مختلفة نوعا فى تركيبها المعدنى. وعلى الأخص اذا كانت تفصل بين الاندفاعين فترة زمنية طويلة. وقد حملتهم أدلة من هذا النوع على الاعتقاد بأن نوعا واحدا من الصهير قد ينتج عنه صخور مختلفة فى تركيبها المعدنى.

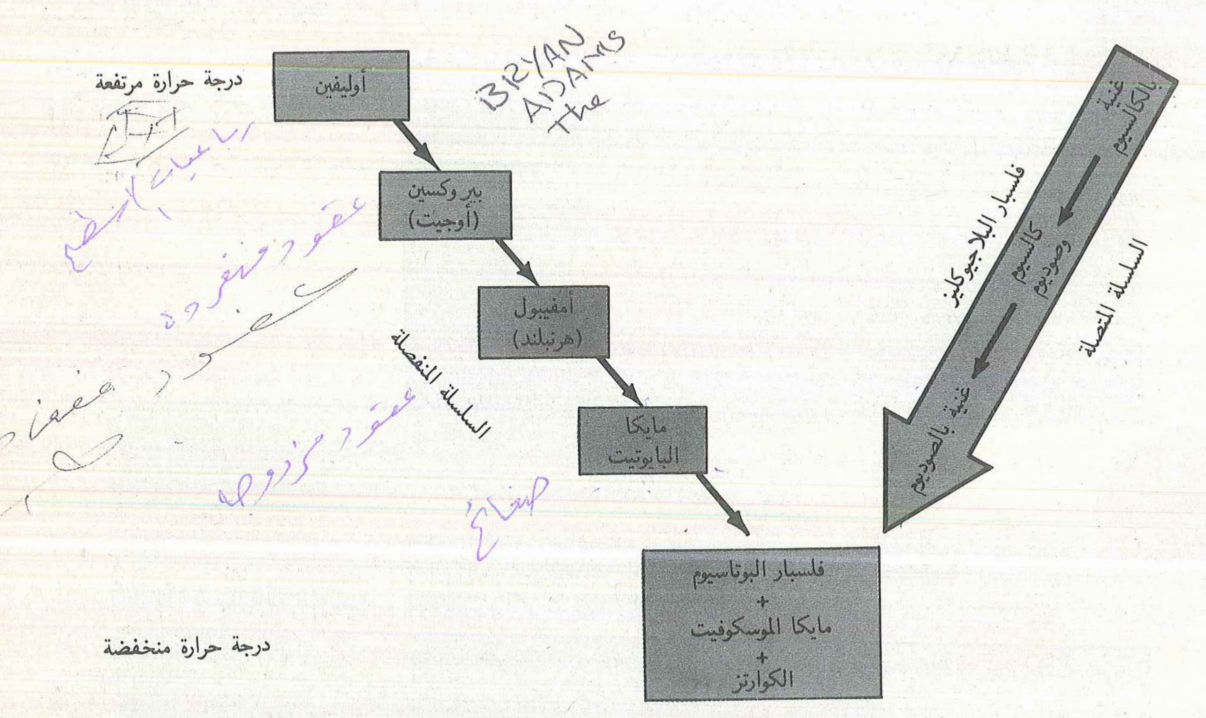
وقد كانت هناك أبحاث سباقة تخص تبلّر الصهير قام بها ن. ل. بووين فى الربع الأول من هذا القرن. وقد وجد بووين أنه عندما يبرد الصهير فى المعمل فان معادن معينة تتبلر أولا. وبتدرج انخفاض درجات الحرارة، تبدأ معادن أخرى فى التبلر كما هو واضح فى شكل 3 ـ 6. وبتتابع عمليات التبلر يتغيرّ تركيب الجزء المنصهر (الجزء السائل من الصهير باستثناء أى مواد صلبة) باستمرار. فمثلا عندما يتصلب 50 % من الصهير فان الجزء المنصهر يكون قد فقد كل الحديد والماغنيسيوم والكالسيوم التى يحتويها تقريبا وتوجد هذه فى المعادن التى تتبلر أولا. ولكن فى نفس الوقت يتم اغناؤها بالعناصر التى تحتويها المعادن ذات التبلّر المتأخر وهى بالتحديد عناصر الصوديوم، والبوتاسيوم. هذا بالاضافة

الى أن محتوى الجزء المنصهر من السليكون يزداد فى المراحل الأخيرة من التبلر.

وقد أثبت بووين أيضا أن اى معدن يبقى فى الجزء المنصهر بعد تبلّره لمدة طويلة، يتفاعل مع بقية الصهير وينتج عنه المعدن الذى يليه فى التتابع الموضح فى شكل 3 ـ 6. ولهذا السبب فان هذا الترتيب للمعادن قد عرف باسم **تتابع تفاعلات بووين**. وفى أعلى الفرع الأيسر لهذا التتابع نجد أن الأوليفين، وهو أول المعادن تبلّرا، يتفاعل مع بقية الصهارة وينتج عنه معدن الأوجيت. ويستمر هذا التفاعل حتى يتكوّن المعدن الأخير فى التتابع وهو البايوتيت. ويسمى هذا الفرع الأيسر بالتتابع المنفصل، لأن لكل معدن من معادن هذا التتابع بنيته البلورية الخاصة به. تذكّر أن الأوليفين يتكون من رباعيات الأسطح، بينما تتكون المعادن الأخرى فى هذا التتابع من العقود المنفردة والعقود المزدوجة والصفائح على الترتيب. وطبيعى أن هذه التفاعلات غير متكاملة، ولهذا فان كمية متنوعة من كل هذه المعادن قد تتواجد فى أى لحظة.

أما الفرع الأيمن لهذا التفاعل، فهو متصل، حيث تتكون فيه أولا بلورات الفلسبار الغنى بالكالسيوم التى تتفاعل مع أيونات الصوديوم المتوفرة لتصبح تدريجيا غنية بالصوديوم. وكثيرا ما يتم التبريد بسرعة لا تسمح بالانتقال الكامل من فلسبار غنى بالكالسيوم الى فلسبار غنى بالصوديوم. وفى هذه الحالات فان بلورات الفلسبار يكون داخلها غنى بالكالسيوم بينما تزداد النطاقات المتتالية غنى فى الصوديوم.

وخلال المرحلة النهائية للتبلّر وبعد أن يكون معظم

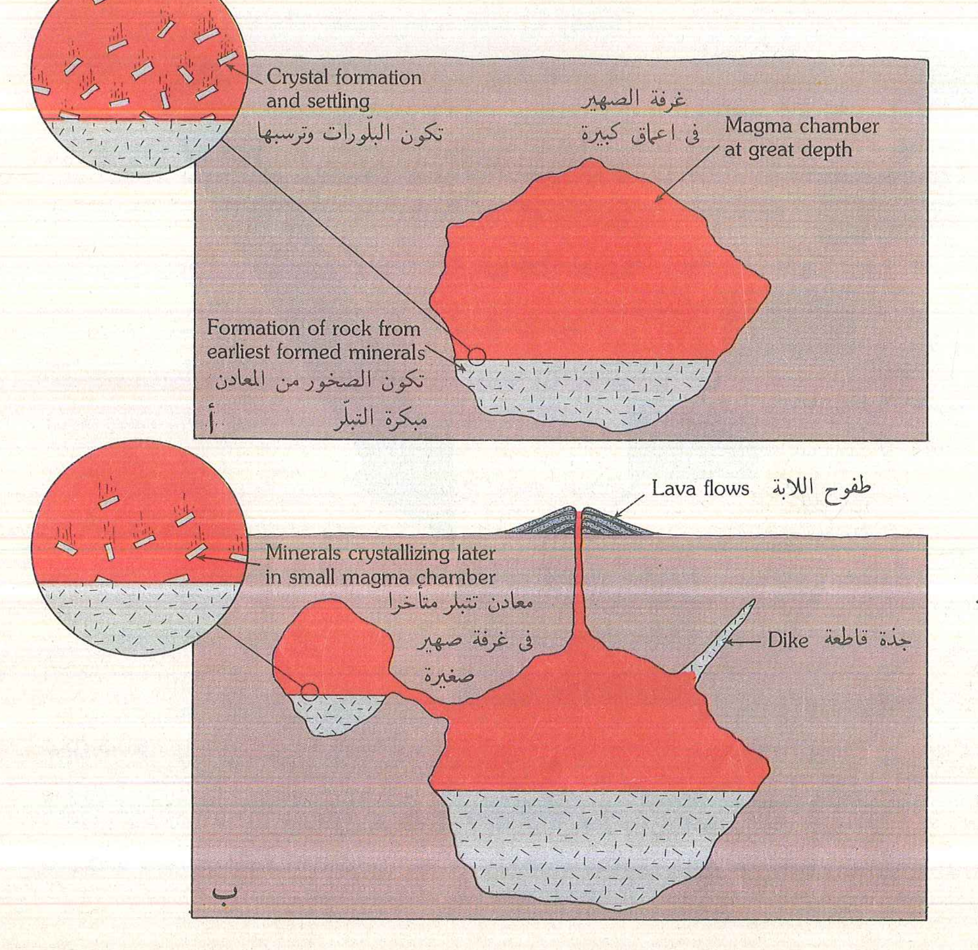


شكل 3 ـ 6

توضح مجموعة تفاعلات بووين الترتيب الذى تتبلّر به المعادن من الصهير. قارن هذا الشكل بالتركيب المعدنى لمجموعات الصخور فى الجدول رقم 3 ـ 1 . لاحظ أن كل مجموعة من الصخور تحتوى على معادن تتبلّر فى آن واحد.

الصهير قد تصلب، تتبلّر بقية الصهارة على هيئة معادن الكوارتز (المرو) والموسكوفيت وفلسبار البوتاسيوم. ولو أن هذه المعادن تتبلر بالترتيب الموضح، الا أن هذا الترتيب لا يمثل تتابعا حقيقيا للتفاعلات. وقد أوضح بووين أن المعادن تتبلر من الصهير بطريقة منتظمة ولكن كيف يمكن بواسطة تتابع تفاعلات بووين تفسير التنوع الكبير فى الصخور النارية؟ يبدو أنه خلال مرحلة أو أكثر من مراحل التبلر، يتم فى بعض الأحيان فصل مكونات الصهير الصلبة عن مكوناته السائلة. وهذا يمكن أن يحدث مثلا اذا كانت المعادن التى تصلبت أولا أثقل من بقية السائل المنصهر حيث تترسب فى قاع غرفة الصهير كما يتضح من شكل 3 ـ 7 أ. ويعتقد بأن مثل هذا الترسيب يحدث كثيرا بالنسبة للسليكات الغامقة كالأوليفين. وعندما تتبلّر بقية الصهارة اما فى مكانها أو فى مكان آخر، اذا حدث وأن تسربت خارج غرفة الصهير، فانها تكوّن صخورا لها تركيب كيميائى يختلف عن الصهير الأصلى (شكل 3 ـ 7 ب). وفى كثير من الحالات فان الصهارة التى تتسرب من الغرفة الأصلية للصهير سوف تمر بمراحل تمايز أخرى. وبينما يستمر التبلّر فى الصهير الجديد فان الأجزاء الصلبة قد تتجمع على هيئة كتل صخرية تحيط بها جيوب من المواد المنصهرة. ومن المحتمل أن بعضا من هذه الصهارة سوف يدخل من الخليط الى الشقوق التى تنشأ فى الصخور المجاورة وينتج عن هذه الطريقة صخورا نارية من تركيب آخر.

والطريقة المتعلقة بتمايز المعادن بواسطة التبلر التفاضلى والفصل تسمى **بالتبلر التجزئى**. وفى أى مرحلة من مراحل التبلر يمكن أن تنفصل الصهارة عن الجزء المتصلب فى



شكل 3 ـ 7
انفصال المعادن بواسطة التبلر التجزئى. (أ) ـ توضيح للطريقة التى تنفصل بها المعادن المتكونة أولا من صهير عن طريق الترسيب. (ب) ـ وقد تتسرب الصهارة المتبقية الى واحد من مواقع مختلفة وبعد مرحلة أخرى من التبلر تتكون صخور لها تركيب معدنى مختلف من الصهير الأم.

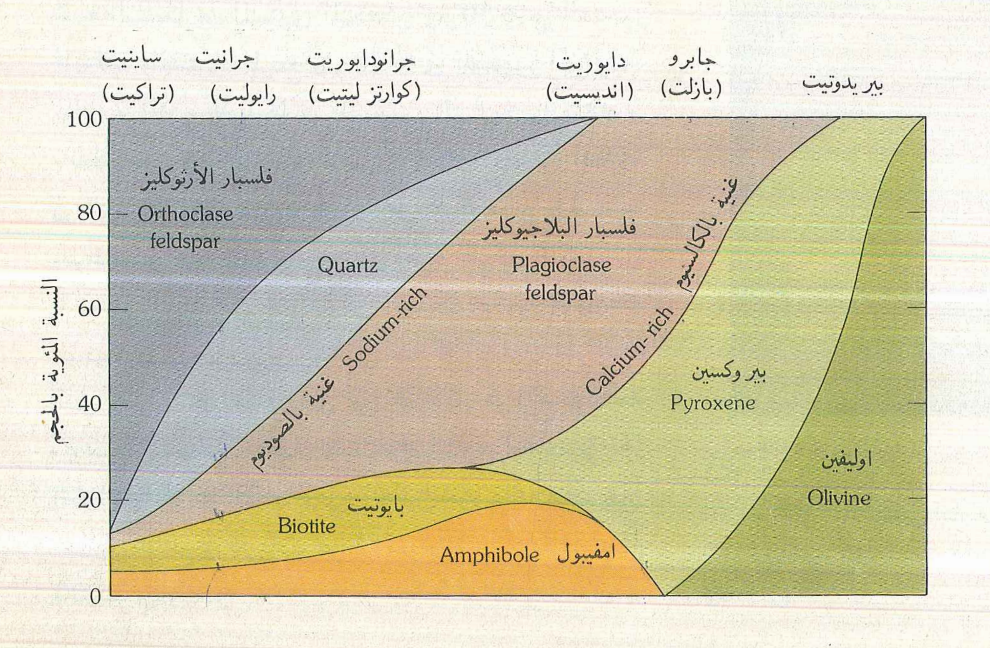
الصهير. ولذلك فان التبلر التجزئى يمكن أن ينتج صخورا نارية لها تركيب متفاوت التكوين. ولهذا فقد أوضح بووين أنه يمكن من خلال التبلر التجزئى الحصول على أنواع عدة من الصخور النارية. ولكن أبحاثا حديثة أثبتت أن هذه الطريقة لا تفسر الكميات المعروفة لأنواع الصخور المختلفة. ولو أنه يمكن الحصول على أكثر من نوع واحد من الصخور من نفس الصهير، الا أنه لا بد أن يكون هناك طرق أخرى للحصول على صهير متنوع التركيب. وسوف ننظر فى مثل هذه الطرق فى نهاية هذا الفصل.

تسمية الصخور النارية

وكما أسلفنا فان الصخور النارية تصنف أو تجمّع على أساس النسيج والتركيب المعدنى. فأنواع النسيج المختلفة تنشأ من حالات التبريد المتفاوتة. أما التركيب المعدنى فهو نتيجة مباشرة للتركيب الكيميائى لصهير المنشأ ولطبيعة بيئة التبلّر. وحسب ما نتوقعه من نتائج دراسات بووين، فان المعادن التى تتبلّر تحت ظروف متشابهة تتواجد مع بعضها مكونة نفس النوع من الصخور النارية. ولهذا فان تصنيف الصخور النارية يتوافق مع تتابع تفاعلات بووين (شكل 3 ـ 6).

فأول المعادن تبلّرا: فلسبار الكالسيوم والبيروكسين والأوليفين. وهى غنية بالحديد والماغنيسيوم والكالسيوم، وفقيرة فى السليكون. فالبازلت هو صخر نابط له تركيب من هذا النوع، ولهذا فإن لفظة بازلتى تعنى صخورا من هذا النوع. وبسبب محتواها من الحديد فان الصخور البازلتية تظهر عادة بلون أغمق الى جانب أنها أثقل نسبيا من الصخور النارية الأخرى التى توجد عادة فوق سطح الأرض.

ومن المعادن المتبلرة أخيرا فلسبار البوتاسيوم والسليكا (كوارتز). والصخور النارية التى يغلب على تركيبها هذين المعدنين عادة ما توصف بأن لها تركيبا جرانيتيا. أما الصخور المتوسطة فعادة ما تتكون من معادن تمثل الوسط فى تتابع تفاعلات بووين. ويعد معدن الهورنبلند مع فلسبار البلاجيوكليز المتوسط من أهم مكونات هذه المجموعة الصخرية. وسوف نطلق على الصخور ذات التركيب المتوسط بين الجرانيت والبازلت لفظ الصخور الأنديسيتية.



شكل 3 ـ 8

التركيب المعدنى للصخور النارية الشائعة. الكلمات التى بين قوسين تدل على إسم الصخر النابط الذى يقابله.

وبالرغم من أن كل واحد من مجموعة الصخور القلوية يتكون أساسا من معادن تمثل نطاقا ضيقا من تتابع تفاعلات بووين، الا أن محتويات أخرى قد تكون موجودة بكميات ضئيلة. فمثلا تتكون الصخور الجرانيتية أساسا من معدنى الكوارتز وفلسبار البوتاسيوم، ولكنها قد تحتوى على كميات من معادن الموسكوفيت والبايوتيت والأمفيبول وفلسبار الصوديوم (جدول 3 ـ 1).

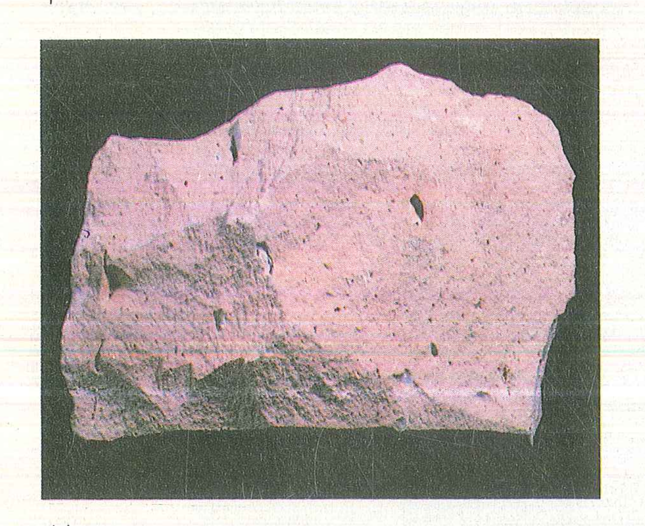
وتركز النقاش على ثلاثة تركيبات معدنية فقط ولكن من المهم ملاحظة أن هناك تدرجا بين هذه الأنواع (شكل 3 ـ 8). فمثلا يتوفر نوع من الصخور النارية المقتحمة يسمى جرانوادايوريت له تركيب كيميائى بين صخور ذات تركيب جرانيتى وأخرى ذات تركيب أنديسيتى. وهناك صخر آخر مهم يسمى بيريدوتيت يحتوى على الأوليفين فى معظمه ويقع فى بداية تتابع تفاعلات بووين. ومن المعتقد بأن البيريدوتيت يشكل نسبة كبيرة فى الجزء العلوى من الوشاح.

ومن المظاهر المهمة فى التركيب المعدنى للصخور النارية، محتواها من السليكا (س $أ_2$). تذكّر أن معظم المعادن فى الصخور النارية تحتوى على السليكا. وفى العادة، تتراوح نسبة السليكا بين المستوى المنخفض وهو 50 % فى الصخور البازلتية والمستوى المرتفع وهو 70 % فى الصخور الجرانيتية. فالنسبة المئوية للسليكا فى الصخور النارية عادة تتغير بانتظام مواز لوفرة العناصر الأخرى. فمثلا، الصخور الفقيرة فى السليكا بها كميات كبيرة من الكالسيوم والحديد والماغنيسيوم. وتبعا لذلك فانه يمكن معرفة التركيب الكيميائى للصخور النارية من محتواها من السليكا. فكمية السليكا الموجودة فى الصهير تؤثر بشدة فى مسلكه. فصهير الجرانيت الذى يحتوى على مقدار عال من السليكا، هو لزج نوعا ما ويوجد فى حالة سائلة عند درجات حرارة تصل فى انخفاضها الى 800° م. وعلى العكس من ذلك فالصهير البازلتى يندفع فى درجات حرارة أكثر ارتفاعا، عادة ما تصل 1200° م أو أكثر.

وليس من المستغرب أن نجد نوعين من الصخور لهما نفس التركيب المعدنى ولكنهما مختلفان فى التسمية. ويرجع ذلك جزئيا الى كون كثير من الصخور النارية تحمل أسماء قديمة أعطيت لها على أساس مظهرها الخارجى بدلا من تركيبها المعدنى. فمثلا الصخور المقتحمة ذات النسيج الخشن، جرانيت، يطابقها تماما صخر بركانى ذو نسيج دقيق



أ



ب

شكل 3 ـ 9

(أ) ـ جرانيت. أحد الصخور النارية خشنة الحبيبات، الأكثر شيوعا.

(ب) ـ رايوليت. الصخر دقيق الحبيبات المقابل للجرانيت هو أقل وفرة.

جدول 3 ـ 1
الصخور النارية الشائعة.

	بازلتية	أنديسيتية	جرانيتية
مقتحمة نابطة	جابرو بازلت	دايوريت انديسيت	جرانيت رايوليت
التركيب المعدنى الغالب	فلسبار الكالسيوم بير وكسين	أمفيبول فلسبار البلاجيوكليز المتوسط بايوتيت	كوارتز فلسبار البوتاسيوم فلسبار الصوديوم
محتوى المعادن القليلة	أوليفين أمفيبول	بير وكسين	موسكوفيت بايوتيت أمفيبول

يسمى رايوليت، ورغم أن هذين الصخرين متساويين فى التركيب المعدنى، الا أن لهما نسيجا مختلفا وهما متشابهان فى المظهر ولهذا فقد أعطيا اسمين مختلفين (شكل 3 ـ 9).

الصخور الجرانيتية

الجرانيت: يمكن اعتبار الجرانيت على أنه أكثر الصخور النارية شهرة (شكل 3 ـ 9 أ) وربما يعزى هذا جزئيا الى جماله الطبيعى، الذى يزداد وضوحا عندما يتم تلميعه، كما ويعزى جزئيا الى وفرته. فقوالب الجرانيت الملمعة عادة ما تستعمل لنصب المقابر والنصب التذكارية، وأحجار البناء.

والجرانيت هو صخر خشن النسيج مكون من نسبة تصل الى 25 % كوارتز (مرو) وأكثر من 50 % فلسبار البوتاسيوم، والفلسبار الغنى بالصوديوم. فبلورات الكوارتز (المرو) عادة ما يكون شكلها مدورا ولونها شفافا أو رماديا. وعلى عكس الكوارتز (المرو) فان بلورات الفلسبار فى الجرانيت ليست زجاجية وشكلها مستطيل ولونها قرنفلى فاتح الى أبيض. والمكونات الأخرى للجرانيت هى الموسكوفيت والسليكات الغامقة، وعلى الأخص البايوتيت والأمفيبول. وبالرغم من أن المحتوى الغامق للجرانيت لا يتعدى العشرين بالمائة لمعظم العينات، الا أن مظهر المعادن الغامقة يوحى بأنها أوفر من نسبتها المئوية الفعلية. ففى بعض صخور الجرانيت، فلسبار البوتاسيوم هو الغالب ولونه وردى غامق مما يعطى للصخر مظهرا محمرّا. وهذا النوع من الحجارة شائع الاستعمال كمادة للبناء. ولكن كثيرا ما تبدو حبيبات الفلسبار بيضاء حتى أنه اذا شوهدت من بعد يبدو لون الصخر رماديا خفيفا. وقد يكون للجرانيت أيضا نسيج متباين حيث تتنوع فيه بلورات الفلسبار، التى يصل طولها سنتيمترا واحدا أو يزيد، متناثرة داخل كتلة أساسية من الحبيبات الخشنة لمعدنى الكوارتز (المرو) والأمفيبول.

وينتج الجرانيت عادة عن عمليات نشأة الجبال. وحيث أن الجرانيت يعتبر نتاجا لبناء الجبال وأنه شديد المقاومة للتجوية والتعرية فانه كثيرا ما يكون وسط الجبال التى أكلتها التعرية. فمثلا هناك عدة مناطق تظهر فيها كميات هائلة من الجرانيت بأمريكا الشمالية، من بينها قمة بايكس فى جبال الروكى، وجبل راشمور فى منطقة (بلاك هيلز)، والجبال البيضاء (وايت ماونتنز) فى ولاية هامبشر الجديدة وجبل ستون فى ولاية جورجيا ومنتزه اليوسيميتى فى صحراء نيفادا (شكل 3 ـ 10). وكما نرى من هذه الأمثلة فان الجرانيت يعتبر صخرا وفيرا جدا. ولكن من المتبع بين الجيولوجيين أن يطلقوا لفظ جرانيت على أى صخر جوفى مقتحم مكون فى غالبيته من معادن السليكات فاتحة اللون، وسوف نتبع هذا الأسلوب لغرض التبسيط. ويجب أن يتذكر

الطالب دائما أن لفظ جرانيت يغطى صخورا لها تركيب معدنى واسع المدى.

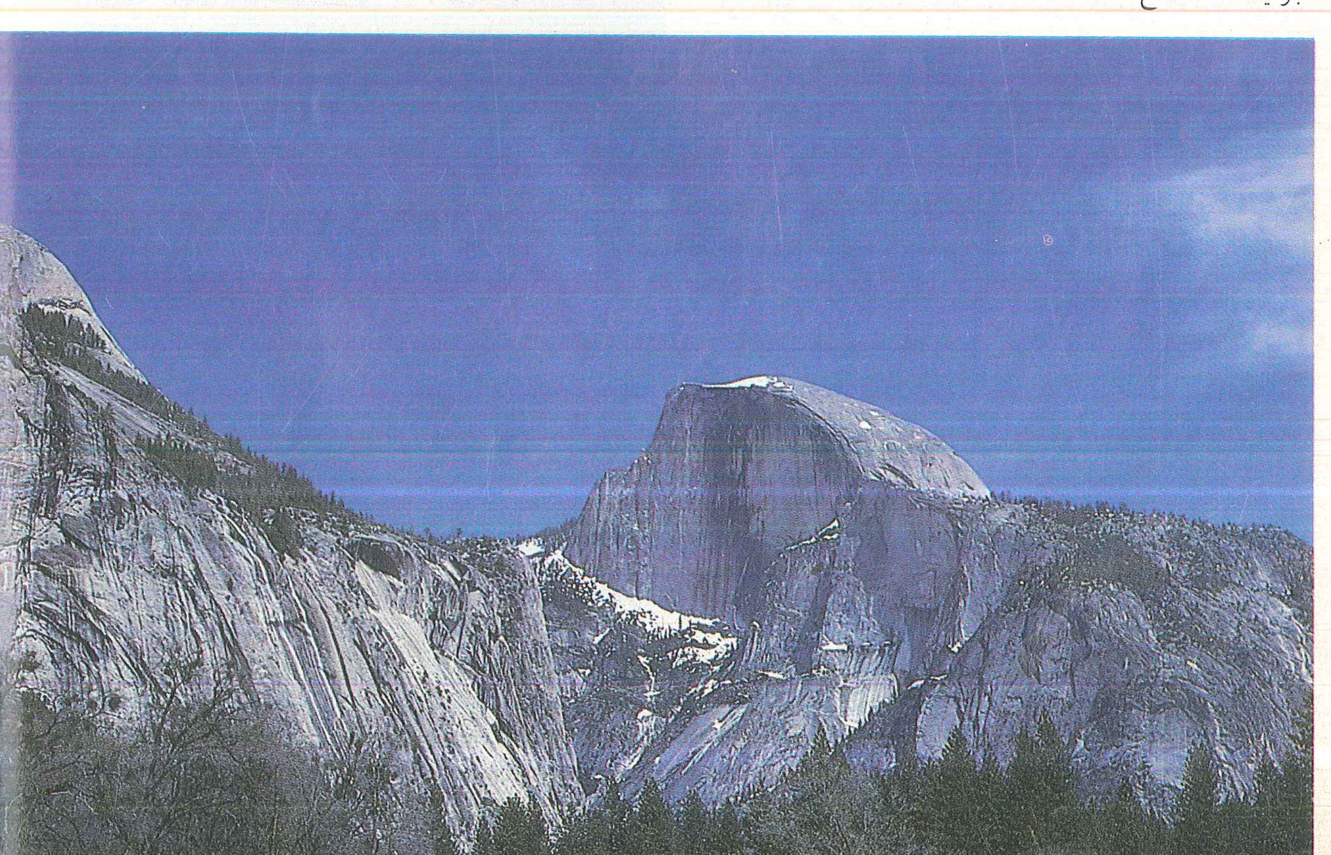
ويحتوى الصهير ذو التركيب الجرانيتى على 5 ٪ من الماء. وحيث أن الماء لا يتبلر فى غرفة الصهير فيمكن أن يمثل الماء نسبة مئوية أكبر فى الصهارة خلال المرحلة النهائية من التصلب. فالصهير المتبلر فى وسط مشبع بالماء، حيث يساعد ذلك على انتقال الأيونات، يكوّن بلورات يصل طولها عدة سنتيمترات ان لم يكن عدة أمتار. ويسمى الصخر الناتج **بغماتيت**، وهو يتكون عادة من بلورات ذات حجم غير عادى.

وأكبر البلورات حجما على الاطلاق التى تم اكتشافها، فى البغماتيت. وتم الحصول على كتل من الفلسبار بحجم المنازل من بغماتيت، يقع فى ولاية كارولينا الشمالية بأمريكا. كما تم العثور على بلورات ضخمة سداسية الشكل من معدن موسكوفيت يصل قطرها عدة أمتار وذلك فى ولاية أنتاريو بكندا. أما فى هضاب البلاك هيللز بأمريكا، فقد تم تعدين بلورات بطول أعمدة الهواتف من فلسبار الصوديوم الذى يحتوى على عنصر الليثيوم. وقد بلغ طول أكبرها 12 مترا. وليس لكل البغماتيت بلورات بهذا الحجم، ولكن هذه الأمثلة توضح الظروف الخاصة التى يجب أن تتوفر عند تكوّن البغماتيت.

وبالرغم من أن معظم صخور البغماتيت هى جرانيتية التركيب وتتكون من بلورات كبيرة من الكوارتز والفلسبار والموسكوفيت، الا أنه يوجد أيضا بغماتيت ذو تركيبات

شكل 3 ـ 10

منتزه يوسيميتى الوطنى الذى يقع فى صحراء نيفادا الأمريكية، هو أحد المناطق التى يكثر فيها ظهور الجرانيت عند السطح.

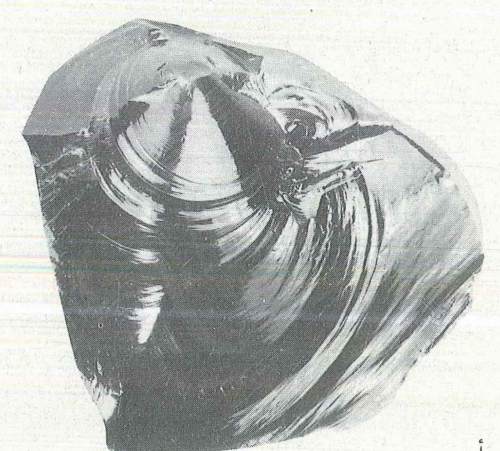


أخرى. ولبعض صخور البغماتيت قيمة اقتصادية، اذ يستخدم الفلسبار فى انتاج الخزف والموسكوفيت فى الزجاج المسطح وفى العزل الكهربائى وفى الطلاء المتلألىء. وبما أن صخور البغماتيت تتكون فى نهاية عمليات التبلّر فهى غالبا ما تحتوى على العناصر النادرة. ولهذا فان بعض المعادن النادرة توجد عادة فى البغماتيت. والى جانب معادن السليكات المعروفة، فان بعض أنواع البغماتيت تحتوى على بعض المعادن الثمينة، مثل البيريل والتوباز والزمرد. وكذلك المعادن المكونة من عناصر الليثيوم والسيزيوم واليورانيوم. وتوجد العناصر النادرة أيضا فى البغماتيت. ويوجد معظم البغماتيت فى كتل كبيرة من الصخور النارية أو فى عروق تقطع الصخور المجاورة لغرفة الصهير. ففى الحالات الأخيرة، يعتقد بأن محاليل المياه الحارة قد رسبت المعادن فى الشقوق التى تشعبت فى الصخور المحيطة.

الرايوليت : هو الصخر البركانى المكافىء للجرانيت. ومثل الجرانيت فهو مكون من السليكات فاتحة اللون (شكل 3 ـ 9 ب) وتفسرً هذه الحقيقة لونه الذى يتراوح بين الجاموسى والوردى أو الرمادى الخفيف. وعادة ما يكون الرايوليت دقيق النسيج، وكثيرا ما يحتوى على قطع زجاجية وعيون فارغة تدل على سرعة التبريد فى بيئة سطحية. وفى الحالات التى يحتوى فيها الرايوليت على بلّورات موروثة، تكون عادة صغيرة الحجم ومكوّنة اما من الكوارتز (المرو) أو فلسبار البوتاسيوم. وبعكس الجرانيت فالرايوليت ليس شائعا ويعتبر منتزه الييلوستون بأمريكا حالة استثنائية معروفة جيولوجيا حيث تنتشر هناك وبكثرة طفوح لابة الرايوليت وتراكمات الرماد البركانى المتشابهة التكوين.

الأبسيديان : هو صخر غامق اللون زجاجى النسيج، يتكون عندما تبرد الحمم بسرعة (شكل 3 ـ 11 أ). وبعكس الترتيب المنظم للأيونات الذى تتصف به المعادن، فان الأيونات فى الزجاج مبعثرة. ولهذا فان الصخور الزجاجية لا تحتوى على معادن بنفس المعنى الذى يوجد فى الصخور الأخرى.

وبالرغم من أن للأبسيديان لون اسود أو بنى محمر الا أن محتواه من السليكا عال جدا مما يجعله أقرب فى تركيبه الى الصخور النارية الفاتحة مثل الجرانيت منه الى الصخور الغامقة ذات التركيب البازلتى. والسليكا النقية شفافة مثل


أ


ب

شكل 3 ـ 11

(أ) ـ الأبسيديان، صخر بركانى زجاجى. (ب) ـ بيوميس. صخر زجاجى يحتوى على عدة فجوات صغيرة.

زجاج النوافذ ولكن اللون الغامق ينتج من وجود أيونات فلزية. واذا فحصت قطعة رقيقة من الأبسيديان فانك تجدها شفافة تقريبا. ووجود التكسر المحارى الجيد فى الأبسيديان جعل له قيمة عالية حيث كان إنسان العصر الحجرى يصنع منه رؤوس الحراب وأدوات القطع.

البيوميس : هو صخر بركانى له نسيج زجاجى مثل الأبسيديان. وعادة ما يوجد البيوميس فى جوار الأبسيديان، ويتكون من تسرب كميات كبيرة من الغازات من خلال الابة البركانية لتنتج كتلا زبدية رمادية اللون (شكل 3 ـ 11 ب). وهذه المادة تشبه الى حد كبير الرغوة الناتجة عن فتح زجاجة مشروب غازى. ففى بعض العينات يمكن رؤية الكيسيات أو الفجوات بالعين المجردة أما فى بعضها الآخر فيشبه البيوميس الشذرات الزجاجية الدقيقة الملتحمة، ونظرا لارتفاع نسبة الفراغات فى البيوميس فان كثيرا من أنواعه تطفو فوق الماء وكثيرا ما تظهر خطوط الانسياب فى البيوميس لتدل على اتجاه حركته قبل تصلبه. هذا بالاضافة الى أن البيوميس والأبسيديان قد يتواجدان فى نفس الكتلة الصخرية حيث يكوّنان طبقات متعاقبة.

الصخور الأنديسيتية

الأنديسيت: هو صخر من أصل بركانى لونه رمادى متوسط وحبيباته دقيقة. وقد جاء هذا الاسم من جبال الآنديز، حيث توجد عدة براكين مكونة من هذا النوع من الصخور. والى جانب براكين جبال الآنديز فان معظم التركيبات البركانية المنتشرة حول المحيط الهادى لها تركيب أنديستى. وعادة ما يكون للأنديسيت نسيج متباين (شكل 3 ـ 12). وفى هذه الحالات يكون للبلورات المورثة لون فاتح، وهى بلورات من فلسبار البلاجيوكليز مستطيلة الشكل. أو من بلورات الهرنبلند السوداء ذات الاستطالة.

الدايوريت: صخر مقتحم كبير الحبيبات يشبه الجرانيت الرمادى. ولكن يمكن تمييزه عن الجرانيت بعدم احتوائه على بلورات مرئية من الكوارتز (المرو). والتركيب المعدنى للدايوريت هو عبارة عن بلاجيوكليز غنى بالصوديوم مع



شكل 3 ـ 12
انديسيت متباين، وهو صخر بركانى شائع.

الهرنبلند وكميات قليلة من البايوتيت. وبما أن بلورات الفلسبار الفاتحة وبلورات الهرنبلند الغامقة هى متساوية فى الحجم تقريبا وفى الوفرة فان الدايوريت له مظهر خليط من الملح والفلفل الأسود.

الصخور البازلتية

البازلت: هو صخر بركانى ذو مدى لونى بين الأخضر الغامق والأسود، دقيق الحبيبات مكون أساسا من البيروكسين والفلسبار الغنى بالكالسيوم مع كميات أقل من الأوليفين والأمفيبول (شكل 3 ـ 13). وعندما يكون البازلت متباين النسيج، فانه يحتوى على بلورات موروثة صغيرة فاتحة اللون من فلسبار الكالسيوم مغمورة فى كتلة أساسية سوداء.

ويعتبر البازلت من أكثر الصخور النارية النابطة انتشارا فهو المكون الرئيسى لعدد كبير من الجزر البركانية مثل جزر هاواى وآيسلندة. هذا الى جانب أن الطبقات العليا للقشرة المحيطية مكونة من البازلت. ففى الولايات المتحدة مثلا؛ أجزاء شاسعة من ولايتى أريجون وواشنطن كانت مواقع

شكل 3 ـ 13
لابة ذات تركيب بازلتى من فوهة بركان كيلاوًا، هاواى.



لاندلاع البازلت النابط (شكل 4 ـ 21)، حيث يصل سمك هذه الطفوح فى بعض المواقع حوالى كيلومترين اثنين.

الجابرو: هو الصخر المقتحم المكافىء للبازلت ولونه غامق مثل البازلت، ويتكون أساسا من البيروكسين والبلاجيوكليز الغنى بالكالسيوم. ورغم أن الجابرو ليس وفيرا فى القشرة القارية الا أنه يمثل بدون شك جزءا كبيرا من القشرة المحيطية. وهناك كمية كبيرة من الصهير فى الغرف الجوفية التى غذت فى وقت ما الطفوح البازلتية، وقد انتهت بالتصلب فى أعماق الأرض لتكون صهيرا متصلبا من الجابرو.

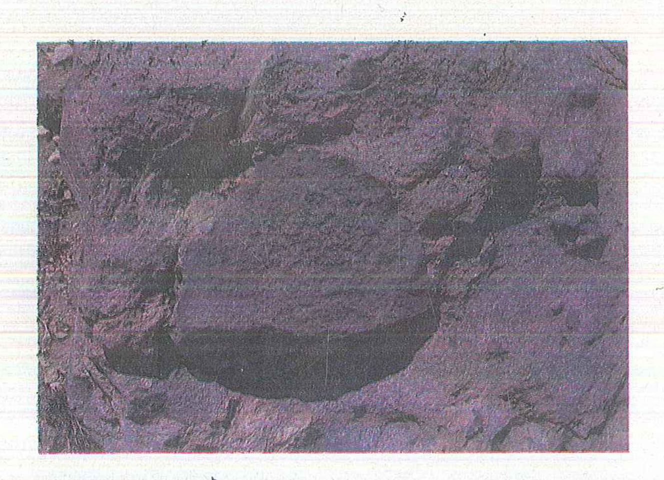
الصخور الفلذبركانية

تتكون الصخور الفلذبركانية من القطع المقذوفة خلال فوران البراكين. وأحد صخور الفلذبركانية الشائعة المسماة «توفة» تتكون من قطع صغيرة بحجم الرماد كانت قد تلاحمت فيما بعد. وفى الحالات التى بقيت فيها قطع الرماد ملتهبة الى حد كاف لالتحامها يسمى الصخر الناتج توفة ملتحمة. وبما أن التوفة الملتحمة تتكون من كسر الزجاج فقد يشبه مظهرها البيوميس الى حد كبير.

أما الصخور الفلذبركانية المكونة من قطع أكبر من الرماد فهى تسمى البريشة البركانية (شكل 3 ـ 14). ويمكن أن تكون القطع المكونة للبريشة البركانية على هيئة حجارة تصلبت فى الهواء، أو كتل انسلخت من جدار الفوهة، أو بلورات أو قطع زجاجية. وبخلاف باقى أسماء الصخور النارية الأخرى، فان كلا من التوفة والبريشة البركانية لا تدلان على التركيب المعدنى.

تواجد الصخور النارية

رغم أن اندلاع البراكين يعتبر من أعنف وأفظع الأحداث الطبيعية، وأنها تستحق بذلك الدراسة المتمعنة، الا أن الجزء الأكبر من الصهير يستقر فى أعماق الأرض. ولهذا فان فهم النشاط النارى المقتحم لا يقل فى أهميته لدى



شكل 3 ـ 14

بريشة بركانية. تنسلخ قطع من اللابة المتصلبة من جدار الفوهة وتختلط بالكتل المنصهرة الفائرة.

الجيولوجيين عن دراسة الأحداث البركانية. والتركيبات التى تنشأ عن استقرار المواد النارية فى الأعماق تسمى بلوتونات. وحيث أن البلوتونات تتكون بعيدا عن المشاهدة تحت سطح الأرض فانها لا يمكن دراستها الا بعد رفعها الى أعلى وظهورها على السطح بواسطة عوامل الرفع والتعرية. ويشكل تصور الأحداث السابقة التى أدت الى نشأة هذه التركيبات منذ ملايين أو مئات الملايين من السنين، تحديا واضحا للدارسين.

وقد فصلنا مناقشة النشاط البركانى عن مناقشة النشاط البلوتونى من أجل التوضيح، وسوف نعالج ظاهرة البراكين فى الفصل التالى، أما الآن فسوف نركز على النشاط البلوتونى. ولا بد من أن نتذكّر دائما أن هذه العمليات المختلفة تقع متلازمة وتشمل فى أساسها نفس المواد التى تتكون منها الأرض.

طبيعة البلوتونات

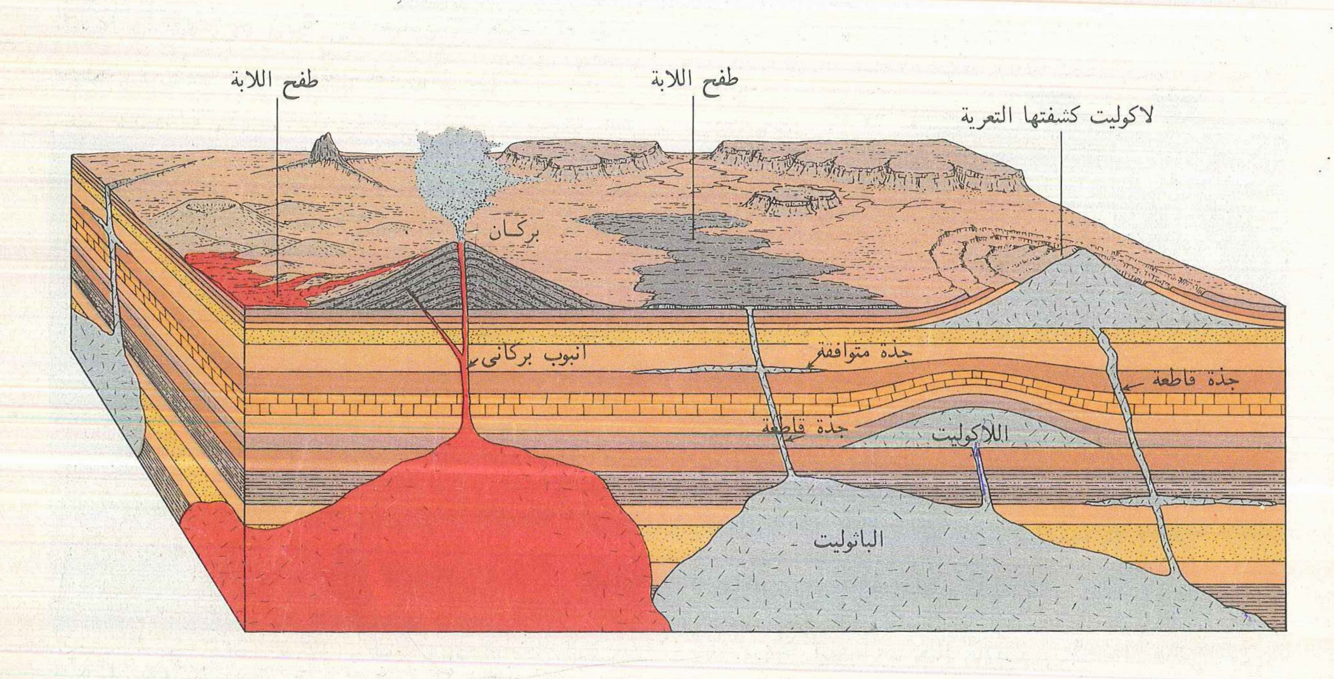
توجد البلوتونات على هيئات مختلفة من حيث الشكل والحجم. ويوضح شكل 3 ـ 15 بعض الأنواع السائدة. لاحظ أن بعض هذه التركيبات لها أشكال مسطحة والبعض

الآخر له أشكال سميكة. لاحظ أيضا أن بعض هذه الأجسام يقطع التركيبات التى تواجدت قبله، مثل الأسطح الطبقية للصخور الرسوبية، بينما يتكون البعض الآخر عندما يحشر الصهير بين طبقتين رسوبيتين وبسبب هذه الفروق فان الصخور النارية المقتحمة تصنف حسب شكلها: اما أن تكون مسطحة أو كتلية، الى جانب اتجاهها بالنسبة للصخور التى تحتويها. ويقال عن البلوتون بأنها جذة قاطعة اذا كانت تخترق الطبقات المجاورة أو جذة متوافقة اذا كان وضعها موازيا للتركيبات السابقة لها. هذا بالاضافة الى ما تراه فى شكل 3 ـ 15 من مصاحبة البلوتونات للنشاط البركانى. وأكبر الأجسام المقتحمة هى تلك التى يعتقد بأنها تمثل بقايا غرف الصهير التى كانت تزود البراكين.

الجذد القاطعة: هى عبارة عن أجسام نارية مسطحة تنشأ عندما يملأ الصهير شقوقا مخترقة للطبقات. وقد يصبح الضغط الذى يحدثه اندفاع الصهير قويا لدرجة أنه يزيد من حجم الشقوق التى يدخلها. وبعد تبلّر هذه التركيبات المسطحة فاننا نجد أن سمكها يتراوح بين ما هو أقل من السنتيمتر الى حوالى الكيلومتر. ويبلغ سمك معظم الجذد القاطعة عدة أمتار ولا يزيد امتداد معظمها عن بضعة كيلومترات. وغالبا ما يكون اتجاه الجذد القاطعة رأسيا، وهى تمثل المسارب التى سلكتها الصخور المنصهرة لتغذى مواقع اللابة القديمة. وبعض الجذد القاطعة تنتهى فجأة الى اسفل وبعضها الآخر يقود الى بلوتونات.

وربما تتجوى الجذد القاطعة بمعدل أبطأ من الصخور المجاورة لها. وعند ظهورها على السطح قد تأخذ شكل جدار كما هو مبين فى شكل 3 ـ 16. وغالبا ما توجد هذه الجذد متشعبة مثل تشعع الدولاب من رقبة بركانية معراة (أنظر شكل 4 ـ 18). ويعتقد فى هذه الحالات أن صعود الصهير المندفع يسبب تشققات فى مخروط البركان.

الجذد المتوافقة: هى عبارة عن بلوتونات مسطحة تتكون

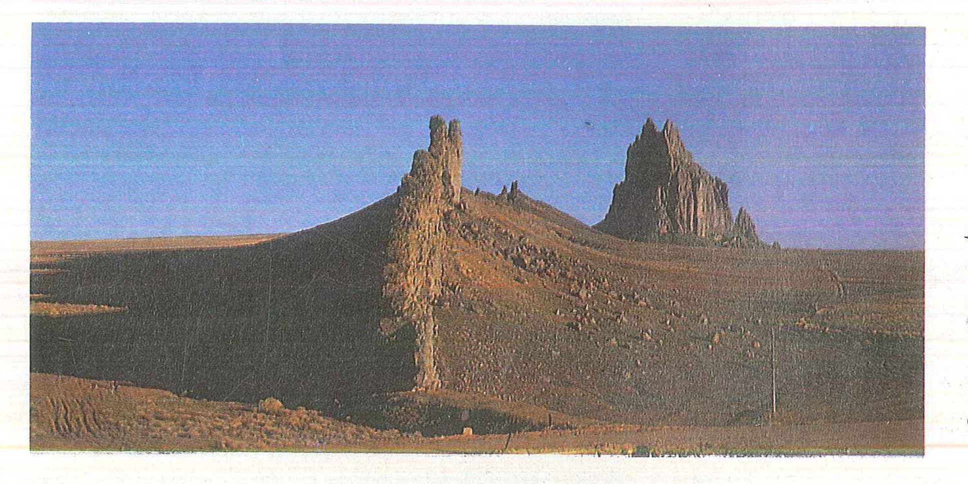


شكل 3 ـ 15
منظر لقطاع مستعرض يوضح التركيبات النارية المقتحمة.

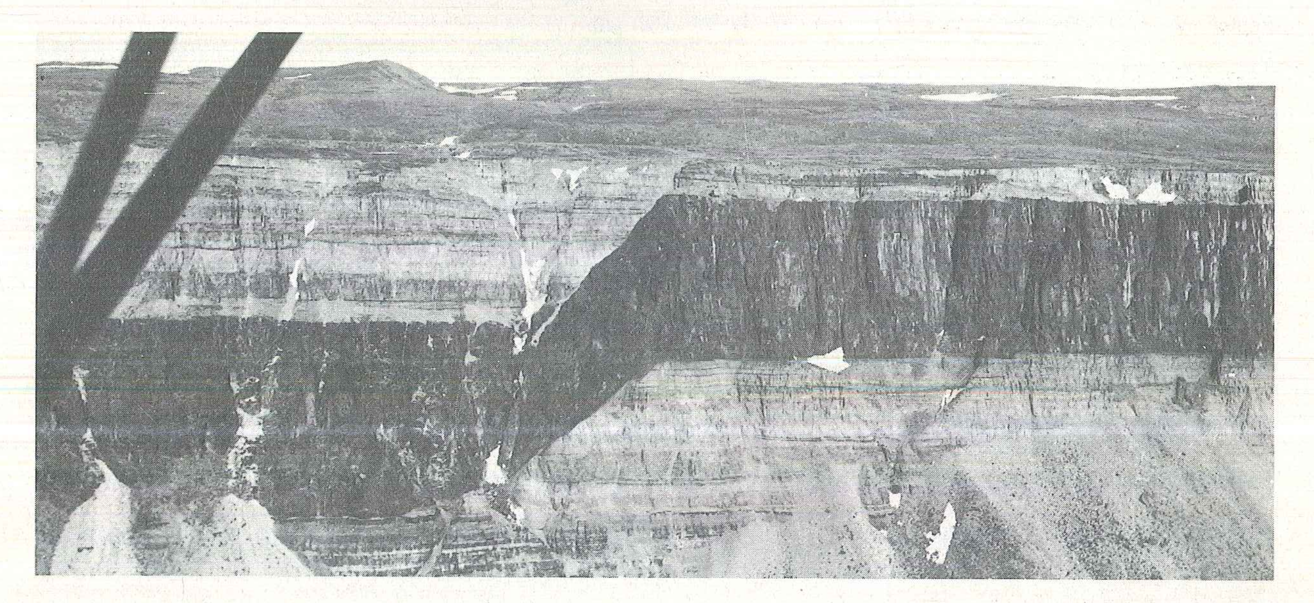
أذان العشاء 6:40 1996-12-29

عندما يحشر الصهير بين الأسطح الطبقية الرسوبية (شكل 3 ـ 17). وعادة ما تكون هذه الجذد افقية الوضع الا انها توجد فى كل الأوضاع الأخرى بما فى ذلك الوضع الرأسى. ونظرا لانتظام سمك الجذد المتوافقة وامتدادها الواسع، فانه يعتقد بأنها تتكون من لابة شديدة السيولة. وكما نتوقع عادة فان الجذد المتوافقة تتألف من الصهير البازلتى الذى هو عادة ما يكون شديد السيولة.

ان استقرار أى جذة فى مكانها يتطلب رفع الصخور الرسوبية التى فوقها الى ارتفاع مساو لسمكها. وقد يبدو هذا أمرا صعبا ولكنه يتطلب طاقة أقل بكثير من تلك اللازمة لدفع الصهير الى أعلى للوصول الى السطح. ولذلك فان الجذة المتوافقة تستقر فى أعماق ضحلة حيث يقل الضغط الناشىء عن ثقل الطبقات التى فوقها. ورغم أن الجذة المتوافقة تقتحم الفراغ الذى بين الطبقات الا أنها قد لا



شكل 3 ـ 16
التركيب المسطح فى مقدمة الصورة هو عبارة عن جذة قاطعة، وفى خلفية الصورة تظهر الصخرة السفينة بولاية مكسيكو الجديدة. وهى عبارة عن ما تبقى من انبوب كان يغذى بركانا فى وقت ما، وقد عملت التعرية على ازالته منذ مدة.



شكل 3 ـ 17
جزيرة بانكس بكندا. الحزام الأفقى الغامق هو عبارة عن جذة من البازلت مخترقة لطبقات منبسطة من الصخور الرسوبية.

البالیسیدس

تكون متوافقة معها على طول امتداد الطبقات. فالجذد المتوافقة الكبيرة عادة ما تخترق الطبقات الرسوبية ثم ترجع الى طبيعة توافقها فى مستوى أعلى.

وان من اشهر وأكبر الجذد المتوافقة فى الولايات المتحدة مثلا هى متوافقة الباليسيدس التى تظهر على امتداد الشاطىء الغربى لنهر الهدسون فى جنوب شرق ولاية نيويورك وشمال شرق ولاية نيوجيرسى. ويبلغ سمك هذه المتوافقة حوالى 300 متر، ونظرا لطبيعة مقاومتها للتعرية فهى تظهر على هيئة واجهة جبلية يمكن رؤيتها بسهولة من الجانب المقابل لنهر الهدسون. ونظرا لكبر سمكها وبطء معدل تبلرها فان هذه المتوافقة تزود الجيولوجيين بمثال ممتاز للتبلر التفاضلى للصهير. وتتألف هذه المتوافقة من صهير غنى بمعادن الأوليفين والبيروكسين والبلاجيوكليز. فالأوليفين الذى هو أثقل وأول ما يتبلر من هذه المعادن، قد غاص الى القاع مكونا حوالى 25 % من الجزء الأسفل للمتوافقة. وبالمقارنة فلا يمثل الأوليفين عند قمة هذه الجذة المتوافقة سوى 1 % من الكتلة الصخرية. وبالمقابل فان أخف مجموعة من هذه المعادن هو البلاجيوكليز الذى يطفو فى اتجاه القمة ويكوّن حوالى الثلثين من الجزء العلوى للجذة المتوافقة. وتهم جذة الباليسيدس المتوافقة الجيولوجيين كثيرا لأنها تؤكد النتائج المتحصل عليها فى المعمل حيث لا يمكن محاكاة ما يحدث فى الطبيعة الا بصورة تقريبية.

وتشبه الجذة المتوافقة الى حد كبير اللابة المدفونة فى خصائصها. فكلاهما مسطح ويظهر مفاصل عمودية (شكل 3 ـ 18). وبالاضافة الى كون الجذة المتوافقة تتصلب قرب السطح وأنها قليلة السمك، فان الصهير الذى تحتويه يتجمد بسرعة لينتج نسيجا دقيق البلورات. وعند محاولة استقصاء التاريخ الجيولوجى لمنطقة ما، فانه يستحسن التفريق بين الجذد المتوافقة والطفوح المطمورة. وبعد فحص هذين التركيبين مليا فانه يمكن بسهولة التفريق بينهما. فعادة ما يحتوى السطح العلوى للطفح المطمور على فراغات ناتجة عن تسرب الغازات كما أن علامات التحول لا تظهر الا فى طبقات الصخور التى تقع أسفله. أما الجذد المتوافقة فتتكون عادة عندما ينحشر الصهير بين الطبقات الرسوبية تاركا شوائب من الصخور المحيطة فى السطحين السفلى والعلوى. كما أن كلا الطبقتين المحيطتين تتعرضان للتنى وهذا دليل واضح على أن الجسم النارى يمثل جذة متوافقة.

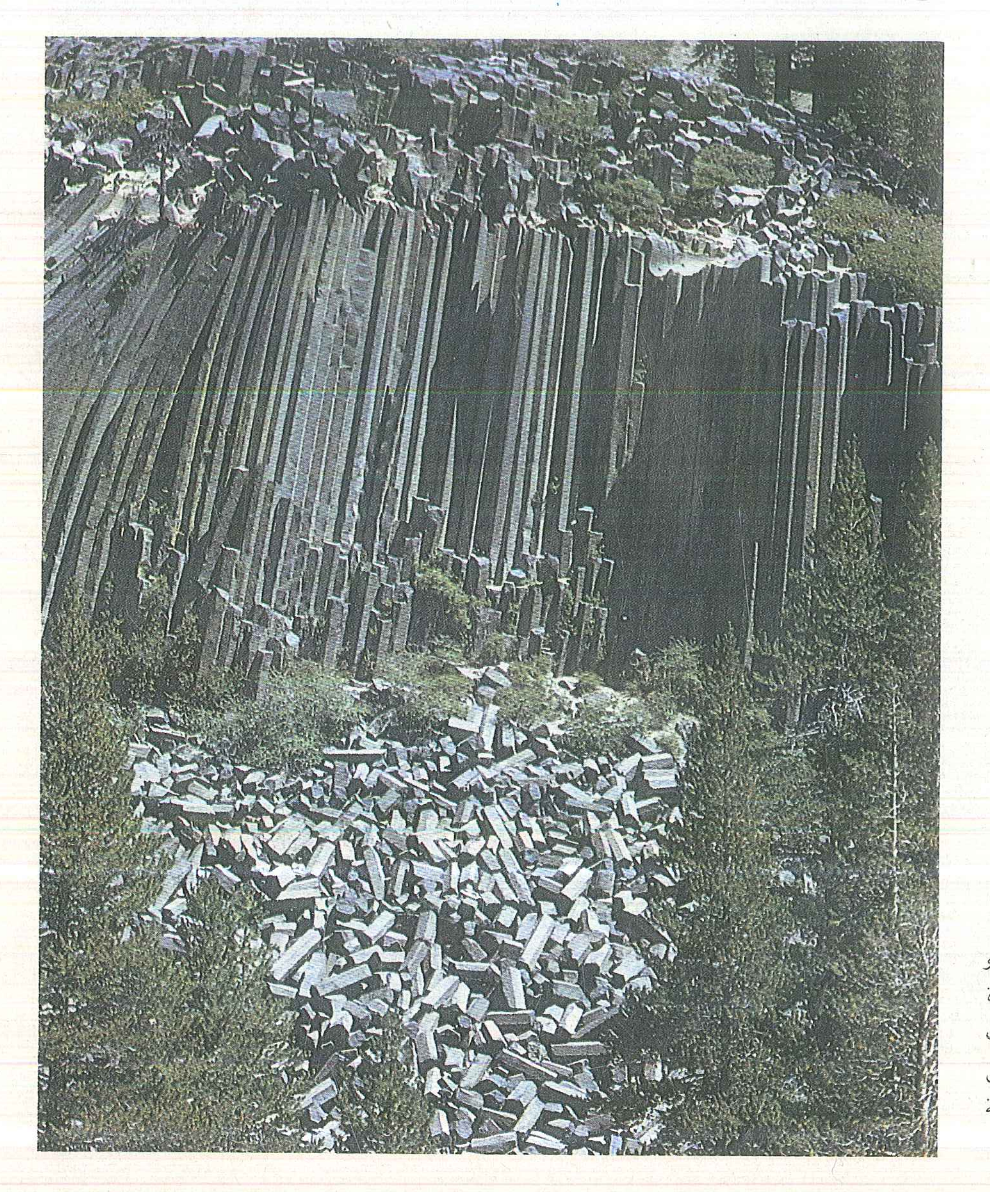
اللاكوليث: تشبه اللاكوليث الجذد المتوافقة، لأنها تتكون عندما ينحشر الصهير بين طبقتين من الصخور الرسوبية قرب سطح الأرض، ولكن على عكس ما هو معروف فى الجذد المتوافقة فانه يعتقد بأن الصهير المكون للالاكوليث عادة ما يكون أكثر لزوجة. ويتجمع الصهير الكثيف قليل السيولة على هيئة كتلة عدسية تعمل على تقوس الطبقات التى تعلوها (أنظر شكل 3 ـ 15). ولهذا السبب فانه يمكن معرفة موقع اللاكوليث على السطح حتى قبل أن تزيل عوامل التعرية طبقات الصخور التى فوقها.

ولا يتعدى اتساع معظم أحجام اللاكوليث أكثر من بضعة كيلومترات. فمثلا جبال هنرى، الواقعة فى جنوب شرق ولاية يوتا الأمريكية، هى عبارة عن عدد من أجسام اللاكوليث الكبيرة التى يعتقد بأنها كانت تتغذى من صهير كبير الحجم قد تجمع فى الطبقات القريبة. كما يعتقد بعض الجيولوجيين بأن الهيكل المعروف (ببرج الشيطان) فى شرق ولاية وايومنج هو عبارة عن بقية من لاكوليث.

الباثوليث: يمثل الباثوليث أكبر الأجسام النارية المقتحمة. ويتكون أكبر حجم للباثوليث عادة من تركيب صخرى يبلغ عدة مئات من الكيلومترات طولا وحوالى مائة كيلومتر عرضا كما هو مبين فى شكل 3 ـ 19. ويغطى باثوليث أيداهو مثلا شمال غربى أمريكا مساحة تزيد عن 40.000 كيلومتر مربع. وتشير المعلومات غير المباشرة المستمدة من دراسات الجاذبية على أن للباثوليث سمك كبير أيضا قد يمتد ليخترق معظم القشرة الأرضية من تحته. وبناء على الأحجام التى تكشفها التعرية عند سطح الأرض فان بعض أحجام الباثوليث يزيد سمكها عن بضعة كيلومترات. ومن المصطلح عليه أن لا تقل المساحة التى يغطيها البلوتون عن 80

كيلومترا مربعا لكى يطلق عليها اسم باثوليث. أما البلوتونات التى هى أصغر من 80 كيلومترا مربعا فتسمى جذعا. ويبدو أن كثيرا من الجذوع هى عبارة عن باثوليث لم تظهرها بالكامل عوامل التعرية. ويعتقد بأن أنواعا أخرى من الجذوع تشكل أحجاما باثوليثية صغيرة انفصلت عن جسم الصهير الأصلى وتكونت بعيدا عنه.

ويتركب الباثوليث عادة من أنواع الصخور التى يقترب تركيبها الكيميائى من تركيب الجرانيت. هذا بالاضافة الى أن بعضها يتكون من الدايوريت. فعادة ما يتكون الباثوليث ذو الأحجام الصغيرة كليا من نوع واحد من الصخور. ولقد تبين من دراسة الباثوليث ذات الأحجام الكبيرة أنها تنتج عن عدة مراحل متميزة عبر ملايين السنين. فمثلا يسود الاعتقاد بأن النشاط البلوتونى الذى أدى الى تكون باثوليث صحراء نيفادا الأمريكية قد حدث خلال خمسة مراحل عبر فترة تصل الى حوالى 130 مليون سنة، والتى انتهت حوالى 80 مليون سنة خلت (شكل 3 ـ 20).



شكل 3 ـ 18

أحد المواقع بولاية كاليفورنيا، وهو يصور الفواصل العمودية والأعمدة الناتجة عنها. تنتج هذه الأعمدة ذات الخمس الى سبع جوانب من التقلص الذى يحدث عند تبريد طبقة رقيقة نوعا من الصخور المنصهرة.

وكثيرا ما يوجد الباثوليث فى لب الجبال حيث أزاحت عمليات الرفع والتعرية الصخور العلوية كاشفة بذلك جسم الصخور النارية الصلب. وبعض القمم المرتفعة مثل جبل وتنى بسلسلة جبال صحراء نيفادا هى منحوتة من كتلة صخور الجرانيت. كما تظهر مساحات شاسعة لصخور الجرانيت فى المناطق الداخلية المستقرة للكتل القارية مثل الدرع الكندى فى أمريكا الشمالية. ويعتقد بأن هذه البروزات المنبسطة هى عبارة عن بقايا لجبال قديمة قد طرحت بواسطة التعرية منذ وقت مضى. ولهذا فان الصخور التى تكون الباثوليث فى سلسلة الجبال الحديثة قد تصلبت قرب قمة غرفة الصهير، اما ما يوجد فى مناطق الدروع فهو عبارة عن جذور الجبال المندثرة ومكونات الجزء الأسفل للباثوليث. وسوف نبحث دور النشاط النارى وعلاقته ببناء الجبال فى الفصل الثامن عشر.

توضعّ البتثوليث

ان أحدث المناقشات القائمة والمهمة فى الجيولوجيا تتعلق بمنشأ باثوليث الجرانيت. فهناك فريق من الجيولوجيين يؤيد الفكرة التى تقول بأن الباثوليث ينشأ من الصهير الصاعد الى أعلى من أعماق سحيقة. وتعترض هذه الفكرة مشكلة المكان. فما هو مصير الصخور التى كانت أصلا فى الموضع الذى حلت به كتل الصخور المكونة للباثوليث؟ هذا بالاضافة الى أن هناك صعوبة فى شرح الكيفية التى استطاع بها الصهير اقتحام طريقه عبر عدة كيلومترات من الصخور الصلبة. أما الفريق الذى يعارض فكرة الأصل الصهيرى للباثوليث فقد اقترح بأن الجرانيت فى الباثوليث ينشأ عندما تصعد السوائل الساخنة الغنية بالأيونات وكذلك الغازات عبر الصخور وتعمل على تغيير تركيبه الكيميائى. وتسمى عملية تغيرّ الصخور المحيطة الى جرانيت بعملية التجرنت. ومما لا شك فيه أن عملية التجرنت هى مسئولة عن نشأة كميات قليلة من صخور الجرانيت الا أن هناك أدلة قاطعة تشير الى نشأة الجزء الأكبر من الصخور المقتحمة من أصل صهيرى.

شكل 3 ـ 19

مواقع الباثوليت الجرانيتية التى توجد على امتداد الحافة الغربية لقارة أمريكا الشمالية. فقد استقرت هذه الكتل الضخمة ذات الاستطالة فى موقعها خلال المائة مليون سنة الماضية من التاريخ الجيولوجى.

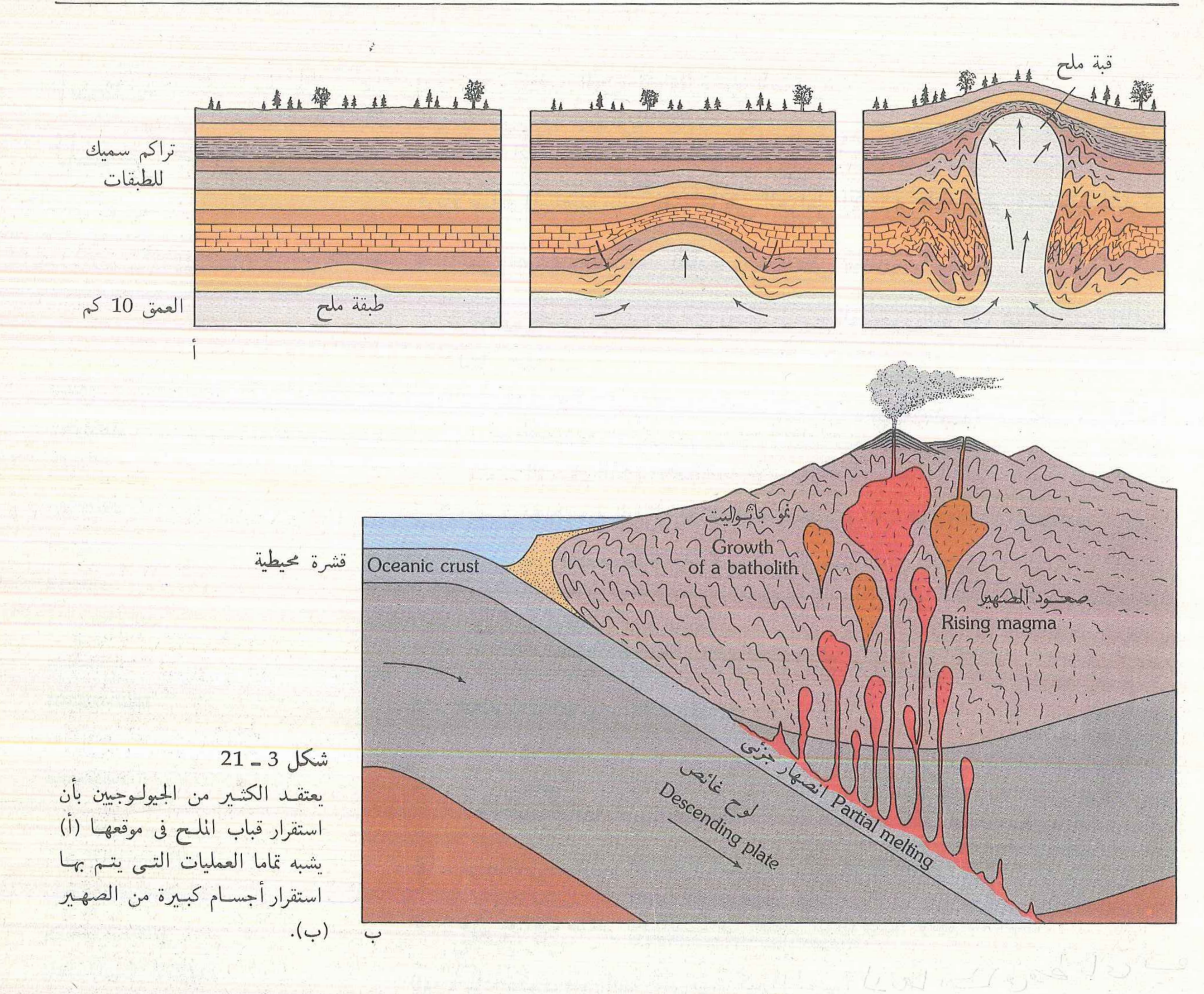
وقد أمكن حل هذا الخلاف من وجهة نظر البعض على الأقل، عندما أجريت دراسات دقيقة على تركيبات قباب الملح. ولهذه التركيبات الملحية أهمية بالغة حيث أنها توجد مصاحبة لمناطق غنية بانتاجها النفطى فى الولايات الأمريكية المطلة على خليج المكسيك وفى الخليج العربى. وتنشأ قباب الملح فى المناطق التى توجد بها طبقات من رواسب الملح، تغطيها آلاف الأمتار من الرواسب الأخرى. ويصعد الملح الذى تقل كثافته عن الرواسب التى فوقه ببطء الى أعلى. وبالامكان حدوث ذلك لأن الملح يتصرف كما لو كان سائلا عندما يتعرض لضغوط متفاوتة خلال فترة زمنية طويلة ونظرا لأن طبقات الملح ليست منتظمة تماما فانه يعتقد بأن منطقة الصعود الى أعلى تبدأ عند نقطة فى أعلى الطبقة. وبينما يصعد الملح ببطء الى أعلى فان الضغط المؤثر على الطبقات التى تعلوه، يسبب حركة هذه الطبقات وازاحتها جانبا. كما أن بعض الرواسب المزاحة تهبط الى أسفل لتحل محل الملح الصاعد الى أعلى كما يظهر فى شكل (3 ـ 21 أ). وفى بعض الحالات يخترق الملح سطح الأرض حيث يبدأ الاندفاع الى الخارج فيما يشبه حركة اللابة البركانية غليظة القوام.

ومن المقبول جيولوجيا الآن اعتبار أن الباثوليث يتكون بطريقة تشبه تلك التى تتكون بها قباب الملح (شكل 3 ـ 21 ب). وبما أن الصهير هو أقل كثافة من الصخور التى فوقه فان طفويته تحركه الى أعلى. وكما فى قباب الملح فان الصهير يوفر المكان اللازم لحجمه بازاحة الطبقات المحيطة



شكل 3 ـ 20

صحراء نيفادا، فى منتزه اليوسيميتى الوطنى هما عبارة عن اثنين فقط من عدة تراكيب مقببة الشكل تشكل فى مجموعها باثوليت صحراء نيفادا.



شكل 3 ـ 21
يعتقد الكثير من الجيولوجيين بأن استقرار قباب الملح فى موقعها (أ) يشبه تماما العمليات التى يتم بها استقرار أجسام كبيرة من الصهير (ب).

به. وبينما يتحرك الصهير الى أعلى فان بعض الصخور المجاورة والتى تقع على الجوانب سوف تهوى فى المكان الذى يتركه الصهير عند صعوده. وتحدث حالة مشابهة لذلك عندما تترك علبة من الطلاء الزيتى مخزنة لمدة طويلة، فحيث أن الزيت هو أقل كثافة من الطلاء الذى يحتويه فان قطرات الزيت تتجمع وتصعد الى أعلى بينما يبقى الطلاء الثقيل فى القاع. وفى حالة صعود الصهير الجرانيتى، فانه ينتج عن التبريد التدريجى التوقف عن الحركة. وبذلك يتبلر معظم الصهير فى الأعماق مكونا باثوليث جرانيتى بدلا من خروجه عند السطح على هيئة تفجرات بركانية.

ويحتوى الجزء العلوى من الباثوليث عادة على بقايا لم تنصهر من الصخور المجاورة تسمى **الدخيلة**. وتشير هذه الضمائن الى أن هناك عملية أخرى تتم خلال توضع الباثوليث فى المنطقة القريبة من السطح حيث تكون الصخور هشة. فعندما يطفو الصهير الى أعلى، يعتقد بأن الضغط يسبب عدة شقوق فى الصخور العلوية. ويكون الصهير المقذوف من القوة بحيث يفصل كتلا من الصخور المجاورة ويغرسها فى جسم الصهير، غير أن عملية ابتلاع وهضم الصخور المجاورة هذه تعتبر بسيطة اذا ما قورنت بنشاط رفع وازاحة الصخور المجاورة التى ذكرت آنفا.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ كيف تختلف اللابة البركانية عن الصهير؟

2 ـ كيف يؤثر معدل التبريد على عملية التبلّر؟

3 بالاضافة الى معدل التبريد، ما هى العوامل الأخرى التى تؤثر فى عملية لتبلّر؟

4 ـ يبنى تصنيف الصخور النارية أساسا على صفتين. أذكرهما.

5 ـ تتعلق الجمل الآتية بكلمات تصف نسيج الصخور النارية، عيّن الكلمة المناسبة لكل جملة : ـ

أ ـ الفتحات الناتجة عن تسرب الغازات.
ب ـ النسيج الذى يوصف به الأبسيديان.
جـ ـ هلام من البلورات الدقيقة يحيط ببلورات موروثة.
د ـ بلورات صغيرة جدا لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة.
هـ ـ نسيج يتصف بحجمين مختلفين من البلورات.
و ـ حبيبات خشنة تمثل بلورات متساوية تقريبا فى الحجم.

6 ـ علام يدل النسيج المتباين فى الصخور النارية؟

7 ـ ما هو التبلّر التجزئى؟ كيف يقود التبلر التجزئى الى تكوين أنواع متعددة من الصخور النارية من صهير واحد؟

8 ـ اربط بين تصنيف الصخور النارية وتتابع تفاعلات بووين.

9 ـ فيم يختلف صخر الجرانيت عن صخر الرايوليت؟ وفيم يتشابهان؟

10 ـ لماذا تكون بلورات البغماتيت كبيرة الحجم؟

11 ـ عدد أوجه الشبه وأوجه الاختلاف بين كل زوج من الصخور الآتية : ـ
أ ـ الجرانيت والدايوريت.
ب ـ البازلت والجابرو.
جـ ـ الأنديسيت والرايوليت.

12 ـ فى أى شيء تختلف كل من التوفة والبريشة البركانية عن الصخور البركانية الأخرى مثل الجرانيت والبازلت؟

13 ـ بماذا يسمى البلوتون المسطح القاطع للطبقات؟

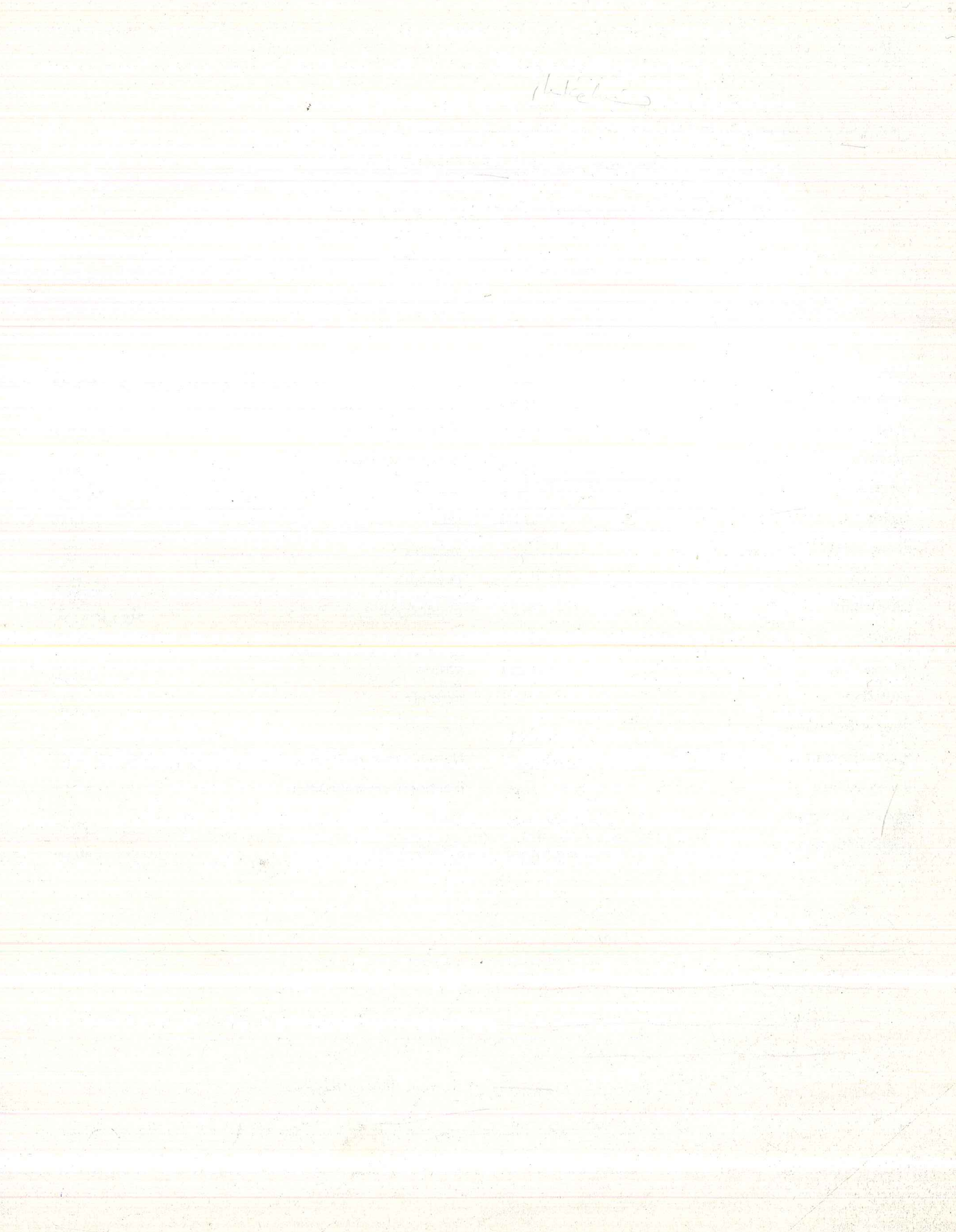
14 ـ لماذا يمكن اكتشاف وجود اللاكوليث عند سطح الأرض قبل أن تظهرها عوامل التعرية؟

15 ـ ما هو المصطلح الذى يطلق على أكبر بلوتون؟ هل هى مسطحة أم كتلية وهل هى متوافقة أم قاطعة للصخور المحيطة بها؟

16 ـ أربط بين كيفية توضّع الباثوليث وكيفية تكوّن قباب الملح؟

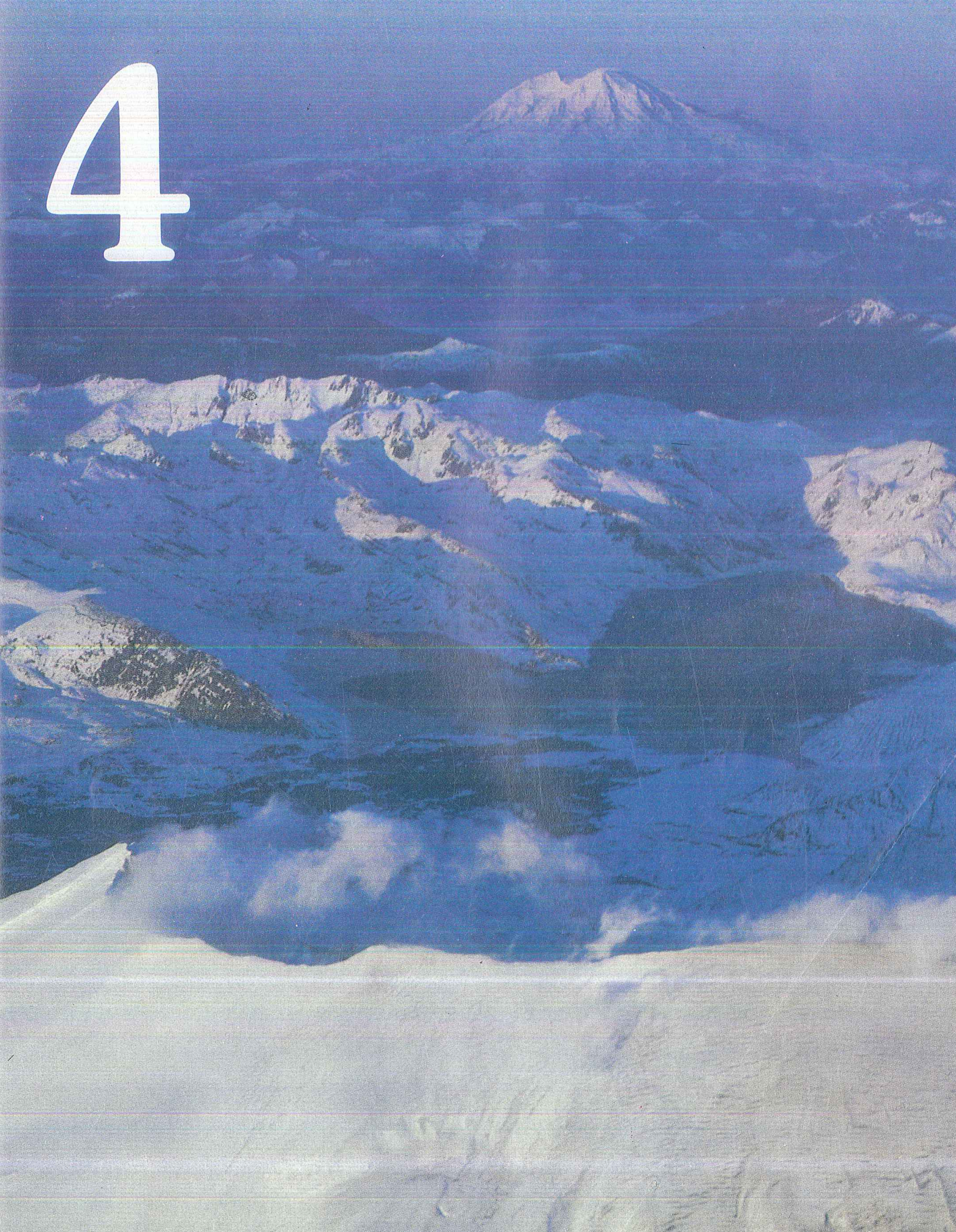
الكلمات الدالة :

الباثوليث	batholith
التبلر	crystallization
المتوافقة	sill
القاطعة	dike
بركانى	volcanic
بغماثيث	pegmatite
بلورة موروثة (بلوثة)	phenocryst
بلوتون	pluton
بلوتونى	plutonic
تباينى	porphyry
تتابع تفاعلات بووين	Bowen's reaction series
تبلر تجزئى	fractional crystallization
جذع	stock
جرنتة	granitization
لابه	lava
دخيلة	xenolith
زجاج	glass
سميكة	massive
صهير	magma
فقاعة	vesicle
كتلة أساسية	groundmass
لاكوليث	laccolith
متوافقة	concordant
مسطح	tabular
مقتحمة	intrusive
نابطة	extrusive
نسيج خشن	phaneritic texture
نسيج دقيق	aphanetic texture
نسيج زجاجى	glassy texture
نسيج فلذ بركانى	pyroclastic texture
نسيج متباين	porphyritic texture



4

النّشاط البركاني


4

طبيعة النشاط البركانى

المواد التى تخرجها البراكين عند الفوران
- طفوح اللابة
- الغازات
- المواد الفلذبركانية

البراكين والفوران البركانى
- البراكين المدرعة
- مخروطات الرماد
- المخروطات المركبة
- الكالديرا
- الرقاب والأنابيب البركانية

قارة أطلانتس المفقودة

البراكين والمناخ

فوران الشروخ ورواسب الطفوح الفلذبركانية

التبركن وحركية الألواح
- نشأة الصهير
- توزيع النشاط النارى

عند الساعة 8:32 من يوم الأحد 18 مايو 1980، حدث ثوران بركانى، يعتبر من أكبر براكين أمريكا الشمالية فى العصر الحديث، مما حوّل المخروط البركانى القديم الى بقايا مبتورة (شكل 4 ـ 1). ففى ذلك التاريخ، فى الجنوب الغربى لولاية واشنطن بأمريكا، ثار بركان جبل سانت هيلينز بقوة تفوق قوة مئات القنابل الذرية التى ألقيت على اليابان خلال الحرب العالمية الثانية. وقد دمر الفوران كل « الظلفة » الشمالية للجبل تاركا حفرة غائرة. وهذا البركان، والذى كان من قبل جبلا بركانيا معروفا يصل ارتفاعه الى أكثر من 2900 متر أصبح فى لحظة قصيرة لا يزيد ارتفاعه عن 410 مترا تقريبا.

المنطقة المجاورة لجبل سانت هيلينز ويظهر جبل رينيير فى الأفق.

وقد دمر الانفجار الأول مساحات واسعة من أراضى الغابات الغنية بالأشجار فى الجانب الشمالى من الجبل. اذ طرحت الأشجار وتشابكت على مساحة تبلغ 400 كيلومتر مربع، وجردت من فروعها وبدت من الجو كما لو كانت حزمة من العيدان اليابسة. وقد تسببت القوة الساحقة فى وقوع أشجار تبعد مسافة 25 كيلومترا من الموقع. أما الغازات والرماد التى انطلقت من البركان فقد بلغت درجة حرارتها 800°م. كما بلغت الخسائر البشرية 36 قتيلا و 23 مفقودا، ومات البعض من الحرارة الشديدة والغازات الخانقة. وآخرون فارقوا الحياة كنتيجة مباشرة للانفجار العنيف والبعض الآخر حاصرتهم سيول الحمم والطين المحمّلة بالفلذ البركانية. كما نقل الانفجار والانهيارات الجبلية المصاحبة له، الرماد والأشجار والصخور المشبعة بالمياه، مسافة 29 كيلومترا الى اسفل نهر توتل. وقد أصبح النهر تيارا محملا بالطين ووصل ارتفاع الماء فيه حوالى 60 مترا فى بعض المواقع. هذا بالاضافة الى ترسب كميات كبيرة من الركام والطين مما سبب فى تكوين سد حال دون تصريف مياه بحيرة سبيريت، اذ وصل ارتفاع الماء بها 30 مترا. ولعدة أيام، كانت المياه المتجمعة وراء السد تمثل خطرا محدقا لسكان المنطقة.

وقد قذف الفوران يوم 18 مايو بما مقداره 3 ـ 4 كيلومترات مكعبة من الرماد والفلذ البركانية. وللمقارنة فان هذه الكمية تساوى تقريبا كمية الرماد التى دفنت مدينة بومبيى الايطالية خلال الفوران التاريخى لجبل فيسوفيس سنة 79 قبل الميلاد.

وبعد الانفجار المدمر، استمر جبل سانت هيلينز فى اخراج كميات ضخمة من الغازات الساخنة والرماد. وخلال دقائق من بداية الانفجار، ارتفعت سحابة سوداء من البركان. وكانت قوة الانفجار عنيفة لدرجة أنها أوصلت بعض الرماد الى طبقات الجو العليا عند ارتفاع زاد على 18,000 متر فوق الأرض. وخلال الساعات والأيام التالية،

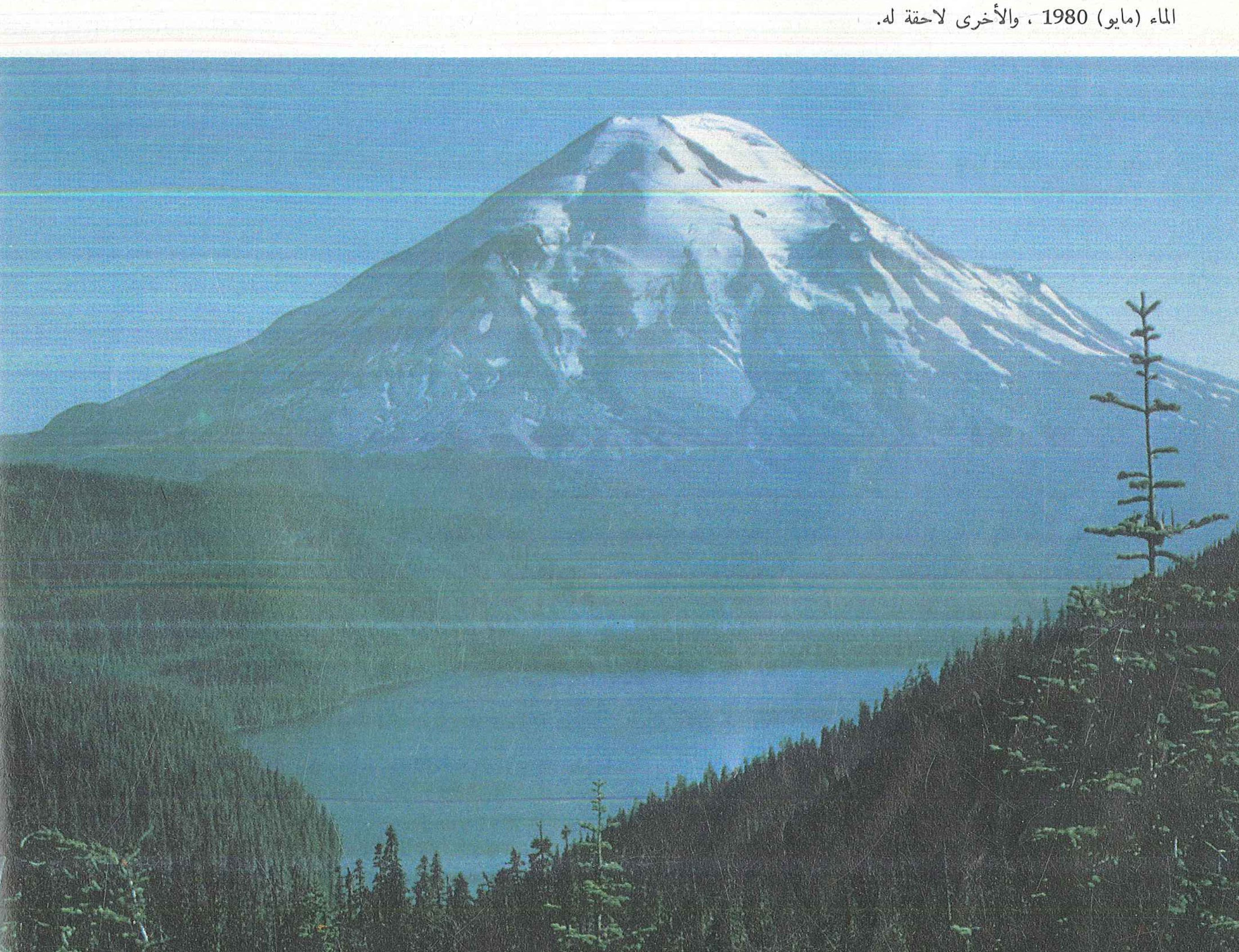
انتقلت هذه المواد الدقيقة الى مسافات كبيرة بواسطة الرياح القوية العالية. وقد سجلت كميات متراكمة فى مناطق بعيدة مثل أوكلاهوما ومينيسوتا وفى نفس الوقت بلغ سمك الرماد المتساقط فى المناطق المجاورة للجبل ما يزيد على مترين. وقد كان الجو فوق مدينة ياكما بولاية واشنطن 130 كيلومترا الى الشرق، محملا بالرماد لدرجة أن سكان تلك المنطقة قد أحاط بهم ظلام دامس فى وقت الظهيرة. وقد سبب البركان فسادا للمحاصيل الزراعية فى مناطق بعيدة مثل وسط ولاية مونتانا.

والأحداث التى أدت الى انفجار يوم 18 مايو، كانت قد بدأت حوالى شهرين قبل ذلك. ففى يوم عشرين مارس كانت هناك هزات أرضية خفيفة متتالية مركزّة تحت الجبل. وقد جاء أول دليل على هذا النشاط يوم 27 مارس، عندما ارتفعت كمية قليلة من الرماد والبخار من قمته. وكذلك خلال الأسابيع التالية عندما حدثت فورانات مختلفة القوة بين الحين والآخر.

وقبل الفوران الرئيسى كان التخوف من المخاطر الكامنة التى ربما تنشأ عن فيضانات الوحل. فالكتل المتحركة من

شكل 4 ـ 1

صورتان لجبل سانت هيلينز أحداهما سايقة للتغير الذى حدث له بسبب انفجار البركان يوم 18 من شهر الماء (مايو) 1980 ، والأخرى لاحقة له.



الفتات المشبع بالمياه كانت قد نشأت عن ذوبان الثلج والجليد بواسطة حرارة الصهير داخل البركان. وقد كانت الاشارة الوحيدة لكارثة متوقعة قد دلّ عليها انبعاج على الضفة الشمالية للبركان. وقد أكدت الملاحظة الدقيقة لهذا الشكل المقبب أن نموه بطيء ولكنه مستمر بمعدل يصل الى بضعة أمتار كل يوم. وقد كان الجيولوجيون المراقبون للنشاط البركانى يعتقدون بأن أى تغير ملحوظ فى معدل نمو الانبعاج ينذر بوقوع انفجار لاحق. ولسوء الحظ لم يلاحظ أى تغير يذكر عما كان يحدث يوميا قبل الانفجار. وفى الحقيقة فان الموجات الاهتزازية قد تناقصت خلال اليومين السابقين للانفجار.

ولذلك لم يسبق أى تحذير لبداية الانفجار وخروج الكميات الكبيرة من الغازات المحبوسة. وقد جاء الانفجار نتيجة لهزة أرضية قوتها 5.1 على مقياس ريختر، مما تسبب فى انهيار الجزء الشمالى من المخروط البركانى الى مجرى نهر التوتل. وبذلك انزاح الثقل الذى كان يحبس الصهير تحته (شكل 4 ـ 3). ومن المعتقد أنه بعد انخفاض الضغط انفجر الصهير الغنى ببخار الماء كما ينفلق القدر الكاتم.





شكل 4 ـ 2
غابة وسيارة خدمات السرود 12 كيلومترا شمال غرب جبل سانت هيلينز دمرها انفجار يوم 18 من شهر (مايو) 1980 .

ب أ

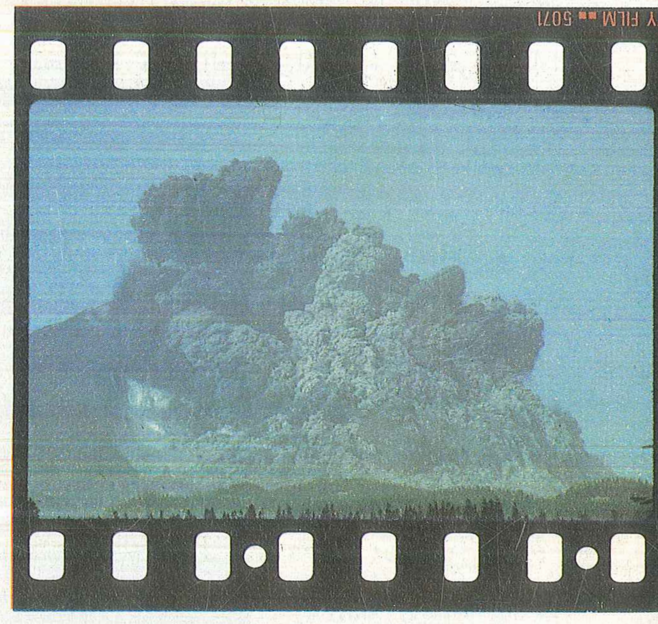
شكل 4 ـ 3
تتابع الأحداث لانفجار جبل سانت هيلينز يوم 18 من شهر مايو 1980 . (أ) ـ قبل يوم 18 من شهر مايو عدة نوبات غطت ثلوج الشتاء وجعلت البركان يبدو غامقا. (ب) ـ بدأ الفوران عندما أثرت هزة خفيفة على الكتلة التى على المنحدر الشمالى وجعلتها تنزلق الى اسفل فى اتجاه بحيرة اسبيريت. ويمكن رؤية بعض مواد الانهيار الأرضى فى أسفل الصورة.

وحيث أن الفلق قد نشأ قرب موضع الانبعاج الواقع أسفل القمة بعدة مئات من الامتار، فان تأثير الانفجار القوى كان فى اتجاه جانبى لا فى اتجاه رأسى. ولو أن قوة الانفجار كانت متجهة الى أعلى لكانت نتائج الدمار أقل.

وجبل سانت هيلينز هو واحد فقط من ضمن 15 بركانا كبيرا وعدة براكين صغيرة أخرى تمتد من جنوب غرب كندا الى شمال كاليفورنيا فى غرب الولايات المتحدة. ومن بين البراكين الكبيرة ثمانية كانت نشطة خلال القرون القليلة الماضية، فقد فار بركان جبل سانت هيلينز آخر فورة له سنة 1857. ومن بين السبع براكين النشطة الباقية، جبل بايكر وجبل شاستا، وقمة لاش، وجبل راينير وقد تفور ثانية فى أى لحظة. ويأمل الجيولوجيون أن يكون ثوران جبل هيلينز قد زودهم بمعلومات كافية تجعلهم قادرين على تقييم المخاطر المتوقعة لثوران البراكين مستقبلا.

طبيعة النشاط البركانى

ينظر الى النشاط البركانى على أنه عملية تنتج أشكالا مخروطية بديعة تفور بشدة من آن لآخر. فبينما يكون ثوران البراكين فى بعض الأحيان شديدا، الا أن كثيرا منها قد تفور بهدوء. والعوامل التى تحدد طبيعة الفوران تشمل تركيب الصهير. ودرجة حرارته وكمية الغازات الذائبة فيه. ويؤثر العاملان الأولان فى قدرة الصهير على الحركة أو فى درجة **اللزوجة** . فكلما كانت المادة لزجة كلما زادت مقاومتها للحركة. فمثلا **الهلام** هو أكثر لزوجة من الماء. ومن السهل مشاهدة أثر الحرارة على اللزوجة. والصهير الساخن مثل الهلام اذا سخن أكثر تزداد سيولته وينتج عنه حمم سائلة. ولهذا عندما تبرد الحمم فانها تفقد قدرتها على الحركة وتنتهى بالتوقف.



جـ



د

(جـ) ـ خلال فورات معدودة بدأت سحابة الرماد تتمدد الى اعلى (المواد الغامقة) ولكن بقوة جانبية أكبر (المواد الفاتحة).

(د) ـ انطلق الانفجار الجانبى بشدة مدمرا تقريبا كل كائن حى سىء الحظ تواجد فى طريقه.

جدول 4 ـ 1

التفاوت فى خواص أنواع الصهير باختلاف التركيب المعدنى لكل نوع

جرانيتية	أنديسيتية	بازلتية	الخاصية
أكثر من حوالى 70 %	متوسط حوالى 60 %	أقل من حوالى 50 %	محتوى السليكا
فلسبار البوتاسيوم كوارتز مايكا أمفيبول	فلسبار الصوديوم أمفيبول بير وكسين مايكا	فلسبار الكالسيوم بير وكسين أوليفين	المعادن الشائعة
أعلى	متوسطة	أقل	اللزوجة
أقل	متوسطة	أعلى	القابلية لتكوين لابة
أعلى	متوسط	أقل	القابلية لتكوين فلذ بركانية
أقل	متوسط	أعلى	الكثافة
أقل	متوسط	أعلى	درجة الانصهار

هذا وقد تمت مناقشة التركيب الكيميائى للصهير فى الفصل الثالث من هذا الكتاب، عند دراسة تسمية الصخور النارية. وأخذ الفروق الهامة بين مختلف أنواع الصخور النارية أى بين الصهير الذى نتجت عنه ألا وهو محتواها من السليكا س أ^2 (جدول 4 ـ 1). فالصهير المنتج للصخور البازلتية يحتوى على حوالى 50 % من السليكا، بينما تحتوى الصخور الجرانيتية (الجرانيت ومقابله النابط الرايوليت) على 70 % من السليكا فأكثر. أما الصخور متوسطة التركيب، مثل الأنديسيت والدايوريت، فتحتوى على 60 % من السليكا تقريبا. ومن المهم ملاحظة أن لزوجة الصهير تعكس محتواه من السليكا. ففى الغالب، كلما زادت نسبة السليكا فى الصهير كلما زادت لزوجته. ويعتقد بأن ذلك يعوق جريان الصهير لأن السليكا تتحد لتكوّن عقودا طويلة حتى قبل بداية التبلر. ونتيجة لذلك فان قلة محتوى السليكا فى الحمم البازلتية يجعلها تميل الى السيولة بينما تكون الحمم التى تحتوى على الرايوليت لزجة وغير قادرة على الجريان لمسافة كبيرة حتى عند درجات الحرارة المتوسطة (شكل 4 ـ 4).

وتؤثر الغازات التى يحتوى عليها الصهير فى حركته. فتعمل على زيادة سيولته. والأهم من ذلك هو أن الغازات المتصاعدة تعطى الصخور المنصهرة التى تمر خلالها القدرة على الاندفاع من فوهات البراكين. وعندما يصل الصهير قرب سطح الأرض، كما هو الحال فى المناطق التى توجد بها براكين، ينخفض الضغط المحبوس فى الجزء العلوى من الصهير انخفاضا ملحوظا. وهذا الانخفاض فى الضغط المحبوس يسمح للغازات التى كانت قد ذابت فى أعماق كبيرة بالتحرر المفاجىء. فعند درجة حرارة 1000° م وتحت ضغط منخفض قرب الضغط السطحى، سوف تتمدد هذه الغازات لتشغل حجما يبلغ مئات المرات من حجمها الأصلى. ويسمح الصهير البازلتى شديد السيولة للغازات المتمددة بالصعود الى أعلى والهروب من الفوهة بسهولة بالغة. وعند هروب هذه الغازات فانها قد تحمل معها اللابة المشتعلة مئات الأمتار فى الهواء محدثة بذلك نافورات من اللابة. ورغم روعة منظر هذه النافورات فانها لا تكون مصاحبة لانفجارات هائلة مثل تلك التى تسبب خسارة كبيرة فى الأرواح والممتلكات. ويعد هذا النوع من الفوران البازلتى

السائل، مثل الذى يحدث فى هاواى، من النوع الهادىء نسبيا.

وعلى النقيض من ذلك، فان الصهير عالى اللزوجة يمنع صعود الغازات الى أعلى، ونتيجة لذلك تتجمع الغازات على هيئة فقاقيع وجيوب يزداد حجمها وضغطها حتى يتم قذف الصخور الشبه منصهرة من فوهة البركان بانفجار شديد.

وبعد أن يقذف الصهير الذى فى أعلى الفوهة، يتسبب انخفاض الضغط فى الصخور المنصهرة أسفله فى قذفها الى أعلى. ولهذا فان الفوران البركانى بدلا من أن يكون فورة واحدة تجده عبارة عن سلسلة من الفورات المتعاقبة وقد تستمر هذه العملية حتى تفرغ غرفة الصهير تماما، مثلما تفرغ الحمة الساخنة ماءها (أنظر الفصل العاشر). وقد لا يكون ذلك صحيحا، لأن الغازات الذائبة فى الصهير اللزج تصعد الى أعلى ببطء شديد. ولهذا فانه فى الجزء العلوى فقط من الصهير تتجمع الغازات ليصل ضغطها الى مستوى الانفجار. ولهذا فان أى انفجار لفوهة بركانية يتبعه عادة تدفق هادىء للابة الخالية من الغازات. ولكن عندما يتوقف تدفق اللابة تبدأ عملية تجمع الغازات وضغطها من جديد. وهذا الفرق الزمنى قد يفسر جزئيا النظام المتقطع لفوران البراكين التى تقذف باللابة اللزجة.

وباختصار، فقد عرفنا أن كمية الغازات الذائبة، وكذلك مدى السهولة التى تهرب بها هذه الغازات، هما المسئولان لدرجة كبيرة على طبيعة الفوران البركانى. ونستطيع أن نفهم الآن لماذا تعتبر براكين هاواى هادئة نسبيا، بينما تعتبر البراكين المطلة على المحيط الهادى من النوع الانفجارى، وتشكل خطرا محدقا بالأرواح، حيث أن هذه الأخيرة تحتوى على كميات ضخمة من الغازات وتقذف بلابة لزجة.

المواد التى تخرجها البراكين عند الفوران

يعتقد الكثير من الناس بأن البراكين لا تقذف أساسا الا اللابة. ولكن هذا غير صحيح فى أغلب الأحيان حيث



شكل 4 ـ 4

منظر جوى لجبل بيق قلاس (الزجاج الكبير) بشمال كاليفورنيا. هنا تدفقت اللابة ذات المحتوى العالى من السليكا على هيئة كتل لزجة من معدن الأبسيديان (الزجاج الطبيعى) والرايوليت. وقد كانت طفوح اللابة هذه سميكة جدا. (لاحظ صورة الطريق كمقياس رسم).

أن الفوران الانفجارى للبراكين يقذف بكميات هائلة من قطع الصخور وقنابل اللابة والرماد والغبار البركانى، والتى لا تقل وفرة عن اللابة. وعلاوة على ذلك ينبعث من جميع البراكين كميات كبيرة من الغازات التى تختلط فى الهواء الجوى. وفى هذا الجزء سوف نفحص هذه المواد المصاحبة لفوران البراكين.

طفوح اللابة

نظرا لقلة السليكا فى اللابة البازلتية فهى عادة ما تكون كثيرة السيولة، حيث تتدفق على هيئة ملاءات رقيقة وعريضة أو على هيئة ألسنة. ففى جزيرة هاواى بلغت سرعة جريان اللابة 30 كيلومترا فى الساعة، فوق السفوح شديدة الانحدار. ونادرا ما يصل جريان اللابة الى هذه السرعة غير أن المعدلات السائدة تتراوح بين 10 و 300 متر فى الساعة. هذا بالاضافة الى أن الطفوح البازلتية قد تسيل الى مسافة 150 كيلومترا قبل أن تتصلب. وبالمقابل فان حركة جريان اللابة الغنية بالسليكا عادة ما تكون بطيئة لدرجة لا يمكن ملاحظتها.

وعندما تبرد اللابة البازلتية السائلة من النوع الهاوايى وتتبلّر فانها تكوّن سطحا أملسا ترتسم فوقه تجاعيد كلما استمرت اللابة فى التقدم (شكل 4 ـ 5 أ). ونظرا لمظهرها الذى يشبه ضفائر الحبال المفتولة، فقد أطلق عليها باهوهو أى اللابة «ذات الحبال». أما اللابة بطيئة الحركة فلها سطح ذو أسنان حادة (شكل 4 ـ 5 ب) ويسمونها لابة الآه آه. وتتصف طفوح الآه آه بأنها أقل حرارة وأكثر كثافة وتتقدم بمعدل سرعة يتراوح بين 5 و 50 مترا فى الساعة وذلك حسب درجة الانحدار. هذا بالاضافة الى أن الغازات الهاربة تحدث شقوقا فى السطح البارد وتترك عددا من الفراغات والنتوءات الحادة فى اللابة المتصلبة. وعندما يتقدم الجزء الداخلى السائل فان القشرة الخارجية تتشقق أكثر مصبغة على الجريان مظهر كتلة زاحفة من فتات اللابة.

فالحمم التى سالت من البركان المكسيكى المشهور



أ



ب

شكل 4 ـ 5

(أ) ـ طفح لابة من نوع باهو هو، ذات الحبال ببركان كيلاوُوا، هاواى.

(ب) ـ طفح نموذجى من نوع الآه آه.

باريكوتين، وردمت مدينة سان وان بارنجاريكو تيرو، كانت من نوع الآه آه (أنظر شكل 4ـ 12). وفى بعض الحالات لا تتعدى حركة أحد طفوح باريكوتين سوى متر فقط فى اليوم. ولكنها استمرت تتقدم يوما وتتوقف يوما لمدة ثلاثة أشهر.

فعادة ما تحتوى الطفوح المتصلبة على انفاق كانت فى يوم ما ممرات أفقية لنقل اللابة من الفوهة الى حافة الطفح.

وتوجد أنابيب اللابة هذه فى داخل الطفوح حيث تبقى درجات الحرارة مرتفعة مدة أطول حتى بعد أن يتصلب السطح العلوى. وتحت هذه الظروف تستمر الحمم المنصهرة داخل القنوات فى تقدمها تاركة وراءها فراغات تسمى بأنفاق اللابة. وتستطيع أنفاق اللابة هذه أن تلعب دورا مهما فى السماح للابة السائلة بالتقدم مسافات كبيرة من منبعها الأصلى. أما الصخور التى تحيط بالأنفاق فتشكل طبقة عازلة ممتازة. وبذلك تبرد اللابة الجارية فى الأنفاق ببطء شديد وتستطيع الحركة الى مسافات طويلة قبل أن تتصلب.

وعندما تدخل الحمم المنصهرة مياه المحيطات، أو عندما تنسكب اللابة داخل مياه المحيطات، تتصلب الأجزاء الخارجية بسرعة. أما اللابة التى داخل الطفوح فعادة ما تكون قادرة على الحركة عبر الأسطح المتصلبة. وتتكرر هذه العملية عدة مرات مما يجعل الطفوح المتصلبة تكوّن أشكالا طويلة تشبه الوسائد الكبيرة المتراصة واحدة فوق الأخرى. وتساعد وسائد اللابة هذه على استنباط تاريخ الأرض، لأن التعرف عليها يشير الى أنها تجمعت تحت الماء.

الغازات

يحتوى الصهير على كميات متفاوتة من الغازات الذائبة والتى تبقى داخل الصخور المنصهرة تحت تأثير الضغط المحيط مثلما يبقى ثانى أكسيد الكربون داخل المشروبات الغازية. وكما فى المشروبات الغازية، تبدأ هذه الغازات فى الهروب عندما ينخفض الضغط. ولهذا السبب فانه يصعب تقدير كمية الغازات الأصلية فى الصخور المنصهرة.

ويسود الاعتقاد بأن كمية الغازات فى الصهير تتراوح بين 1 و 5 فى المائة من الحجم الكلى للصهير. وقد تكون هذه النسبة ضئيلة، ولكن كمية الغاز المتصاعدة قد تزيد عن عدة آلاف من الأطنان فى اليوم. ويرى العلماء بأن التركيب الكيميائى للغازات يشكل أهمية خاصة، حيث أن الطبقات الجوية المحيطة بالأرض قد تكونت من هذه الغازات. وتشير الأدلة المستمدة من النشاط البركانى بجزيرة هاواى بأن الغازات المتصاعدة تحتوى على 70% من بخار الماء و 15% من ثانى أكسيد الكربون و 5 % من مركبات النيتروجين و 5% من مركبات الكبريت، مع كميات أقل من الكلور والهيدروجين والأرجون. وأسهل ما يمكن التعرف عليه هو الكبريت نظرا لرائحته النفاذة ولكونه يكوّن حامض الكبريتيك الحارق.

فبالاضافة الى كون الغازات تدفع الصهير الى فوهات البراكين فانه يعتقد بأنها مسئولة عن تشكيل الممرات الضيقة التى تصل غرفة الصهير بسطح الأرض. ففى بادىء الأمر تتصدع الصخور التى فوق جسم الصهير نتيجة للحرارة الشديدة التى تنبعث منه. ثم تعمل تيارات الغازات الساخنة ذات الضغط المرتفع على توسيع الصدوع مما يؤدى الى حدوث منافذ تصل الى السطح. وبعد اتمام هذه العملية، تعمل الغازات الساخنة المحملة بقطع الصخور على نحت جدران الممرات محدثة ممرات واسعة. ونظرا لأن هذه القوى الناحتة تعمل على ازالة كل ما يعترض طريقها من نتوءات لذلك تكون القنوات البركانية الناتجة دائرية المقطع. وعند توسع الممرات يصعد الصهير الى أعلى ليصبح نشاطه فوق السطح. وعقب كل نوبة فوران تمتلىء القناة البركانية بالمواد التى لم تتمكن من الخروج من الفوهة. وقبل حصول فوران جديد لا بد وأن تعمل الدفعة الجديدة من الغازات المتفجرة على تنظيف الممر أمامها مرة أخرى.

المواد الفلذبركانية

عندما يخرج الصهير البازلتى فوق سطح الأرض تستطيع الغازات الذائبة أن تهرب بحرية تامة وباستمرار. وكما ذكرنا آنفا فان هذه الغازات تعمل عادة على دفع فتائل مشتعلة من الحمم الى ارتفاعات شاهقة مما يشكل نافورات اللابة الخلابة. وقد تتراكم بعض المواد المقذوفة قرب الفوهة وتكوّن شكلا مخروطيا، بينما تحمل الريح القطع الصغيرة الى مسافات طويلة. وعلى النقيض من ذلك فان الغازات فى الصهير اللزج تكون قدرتها على الهروب أقل، وقد تتجمع



شكل 4 ـ 6

قنبلة بركانية. تكتسب قطع اللابة المقذوفة شكلا انسيابيا خلال رحلتها عبر الهواء.

على هيئة ضغط داخلي قادر على احداث فوران عنيف. وعند تحرر هذه الغازات شديدة السخونة فانها تتمدد ألف ضعف لتدفع الصخور المسحوقة واللابة من فوهة البركان. وتسمى القطع التى تنتج عن هذه العملية **بالمواد الفلذبركانية**. ويتراوح حجم قطع الحمم المقذوفة هذه بين الغبار الدقيق أو الرماد البركانى الذى فى حجم حبات الرمل وبين الكتل والقنابل البركانية.

وتنتج حبيبات الغبار والرماد الدقيق عندما تحتوى الحمم على كثير من فقاقيع الغاز، الذى يشبه الرغوة المندفعة من زجاجة مشروبات غازية بعد فتحها مباشرة. وبينما تتمدد الغازات الساخنة بانفجارها تتناثر على هيئة قطع دقيقة. وعندما يهبط الرماد الساخن الى الأرض عادة ما تلتحم فتائل الزجاج المكونة له وينتج عن ذلك «التوفة الملتحمة». وفى بعض الحالات تقذف اللابة الرغوة فى شكل قطع كبيرة تسمى بيوميس وهى ذات مسامات عالية، اذ تحتوى على فراغات كثيرة لدرجة أنها تطفو فوق الماء.

كما أن هناك فلذ بركانية مستديرة الشكل وفى حجم الجوز تسمى لابيللى (الحجارة الصغيرة) وهناك أيضا حبات فى حجم البازلاء تسمى (سندرات). وتحتوى حبات الرماد هذه على فراغات عدة وتتكون عندما تسحق الغازات قطرات اللابة المقذوفة. أما القطع التى هى أكبر من اللابيللى فتسمى كتلا عندما تحتوى على مواد اللابة المتدفقة بعد تصلبها، وتسمى قنابل اذا كانت تحتوى على الكتل المشتعلة المقذوفة فى الهواء. وبما أن القنابل البركانية تكون شبه سائلة اثناء قذفها فى الهواء فانها عادة ما تأخذ شكلا انسيابيا كما فى شكل 4 ـ 6. وبحكم حجم الكتل والقنابل فانها تسقط عادة على سفوح البراكين ولكن القنابل فى بعض الأحيان قد توجهها الغازات الهاربة مثل الصواريخ الى مسافات بعيدة عن منطقة البركان (شكل 4 ـ 7).

وقد تنتشر الحجارة البركانية الى مسافات بعيدة عن مصدرها، وعلى الأخص الغبار الدقيق الذى قد يصل الى طبقات الجو العليا ويبقى معلقا لفترات زمنية طويلة. وهناك قد يسبب فى وجود مناظر رائعة لغروب الشمس كما كان فى بعض الحالات سببا فى انخفاض متوسط درجات الحرارة على الكرة الأرضية. وسوف نناقش الآثار المحتملة لفوران البراكين على المناخ فى جزء لاحق من هذا الفصل. كما يحتوى جدول 4 ـ 2على معلومات تخص كمية الفلذ البركانية المقذوفة من بعض البراكين المعروفة.

البراكين والفوران البركانى

يبنى الفوران البركانى المتتابع تراكما جبليا من المواد يسمى بركانا. ويقع فوق قمة عدد من البراكين منخفض منحدر الجوانب هو الفوهة التى تتصل بغرفة الصهير بواسطة أنبوب تشبه القناة أو الفتحة. وكما تمت الاشارة اليه فان القناة وكذلك الفوهة ينتجان عن القوة الناحتة الناشئة عن الغازات والصهير الفوار. ولبعض البراكين منخفضات كبيرة فوق قممها يزيد قطر الواحد منها عن كيلومتر وفى هذه الحالة تسمى **كالديرا**.

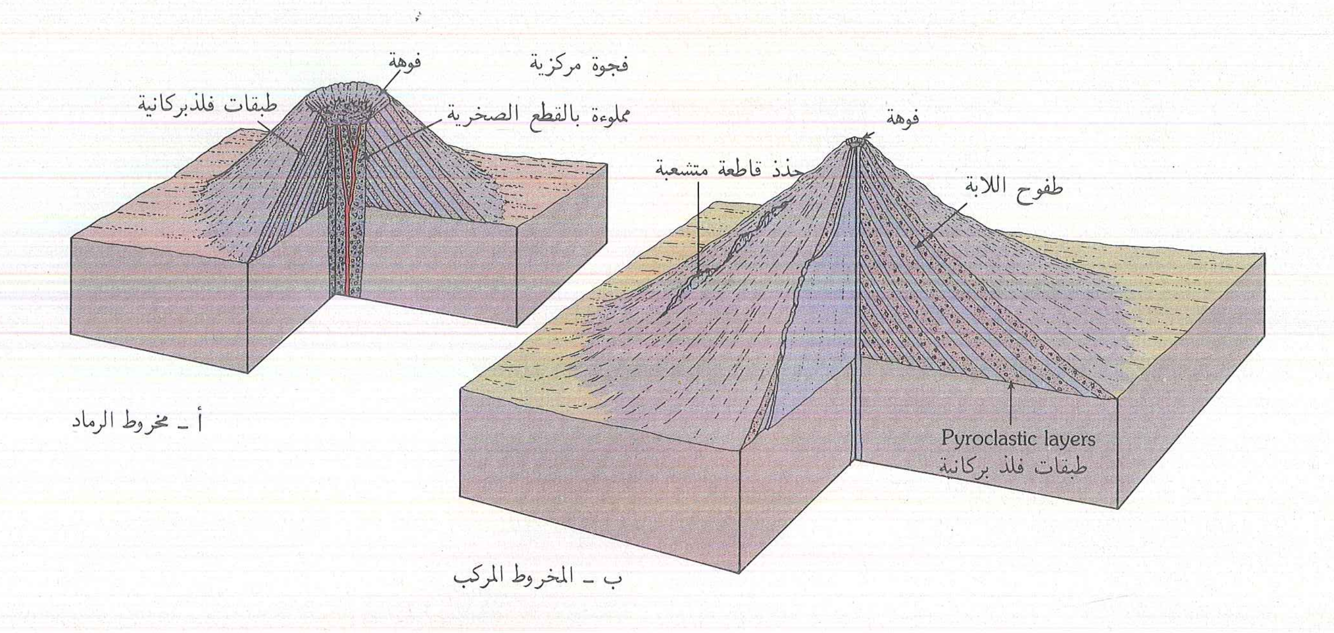
وعندما تخرج اللابة السائلة من القناة فانها تخزّن فى الفوهة أو الكالديرا حتى تفيض منها. وعلى العكس من ذلك فان الحمم اللزجة قد تسد الأنبوبة وتصعد ببطء أو تقذف

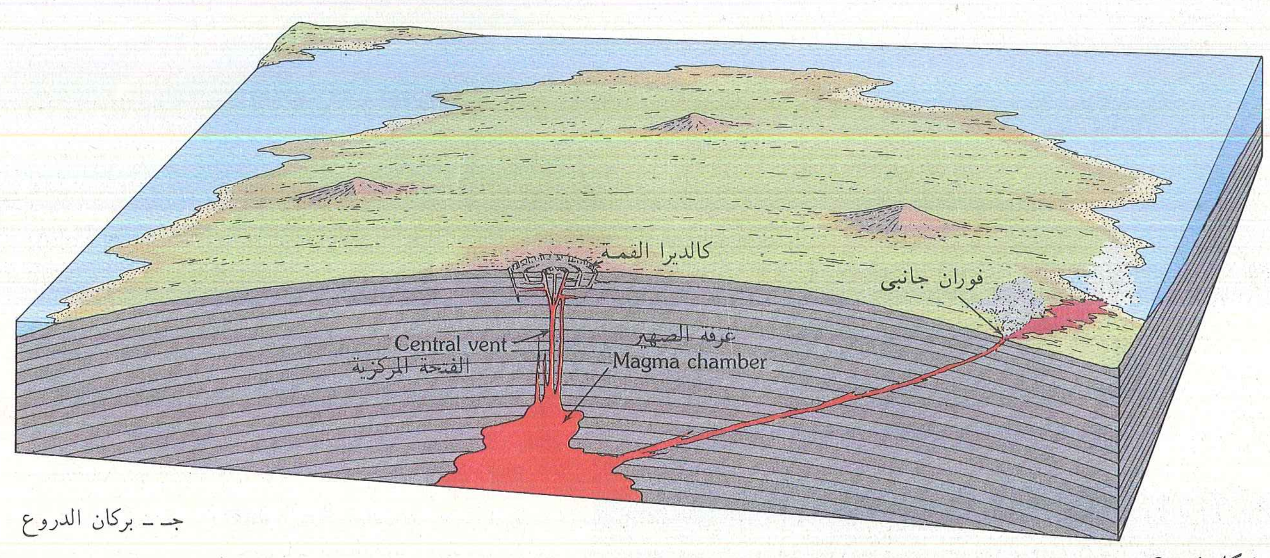


شكل 4 ـ 7
بركان باريكوتين فى فوران أثناء الليل.

جدول 4 ـ 2
حجم الفتات البركانى بالتقريب، الناتج عن بعض الفورات البركانية المعروفة.

الفـورة	الكمية الناتجة فى الغالب فلذ بريشة كلم 3
تامبورا، اندونيسيا (1815)	80 ـ 100
كريترليك (أورجون) (قبل التاريخ)	50 ـ 70
كراكاتوا، أندونيسيا (1833)	18
باريكوتين، المكسيك (1943 ـ 52)	1.3
جبل سانت هيلينز (1980)	4
جبل فيسوفس، إيطاليا (79 ميلادية)	3
ييلوستون، وايومينج (قبل التاريخ)	2400

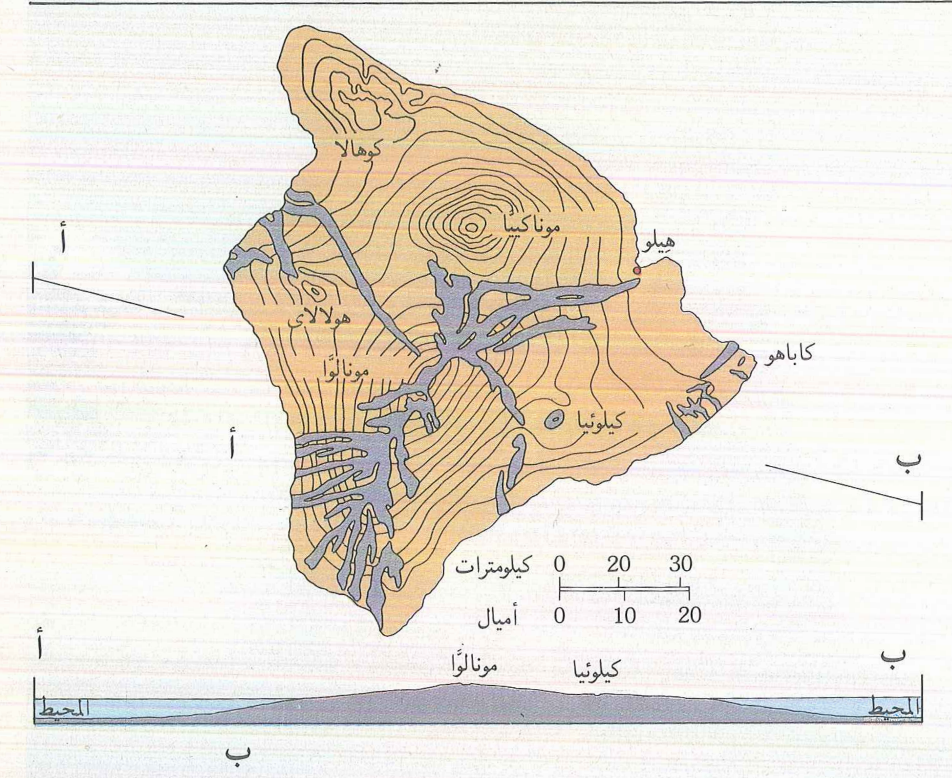




شكل 4 ـ 8

مقارنة بين الأنواع الأساسية الثلاثة للتركيبات البركانية
(أ) ـ مخروط الرماد (ب) ـ المخروط المركب
(جـ) ـ بركان الدروع.

بقوة وغالبا ما تكون سببا فى توسيع الفوهة. ولكن اللابة لا تخرج دائما من فوهة مركزية ففى بعض الحالات يجد الصهير أو الغازات الهاربة أنه من الأسهل الخروج من الشقوق على جوانب البركان. واذا استمر الفوران الجانبى فانه قد يبنى **مخروطا متطفلا**. فجبل اتنا، مثلا، يحتوى على 200 فتحة ثانوية. وبعض هذه الفتحات الثانوية تخرج غازات فقط وتستحق أن يطلق عليها اسم **فيومارول** (المدخنة البركانية).

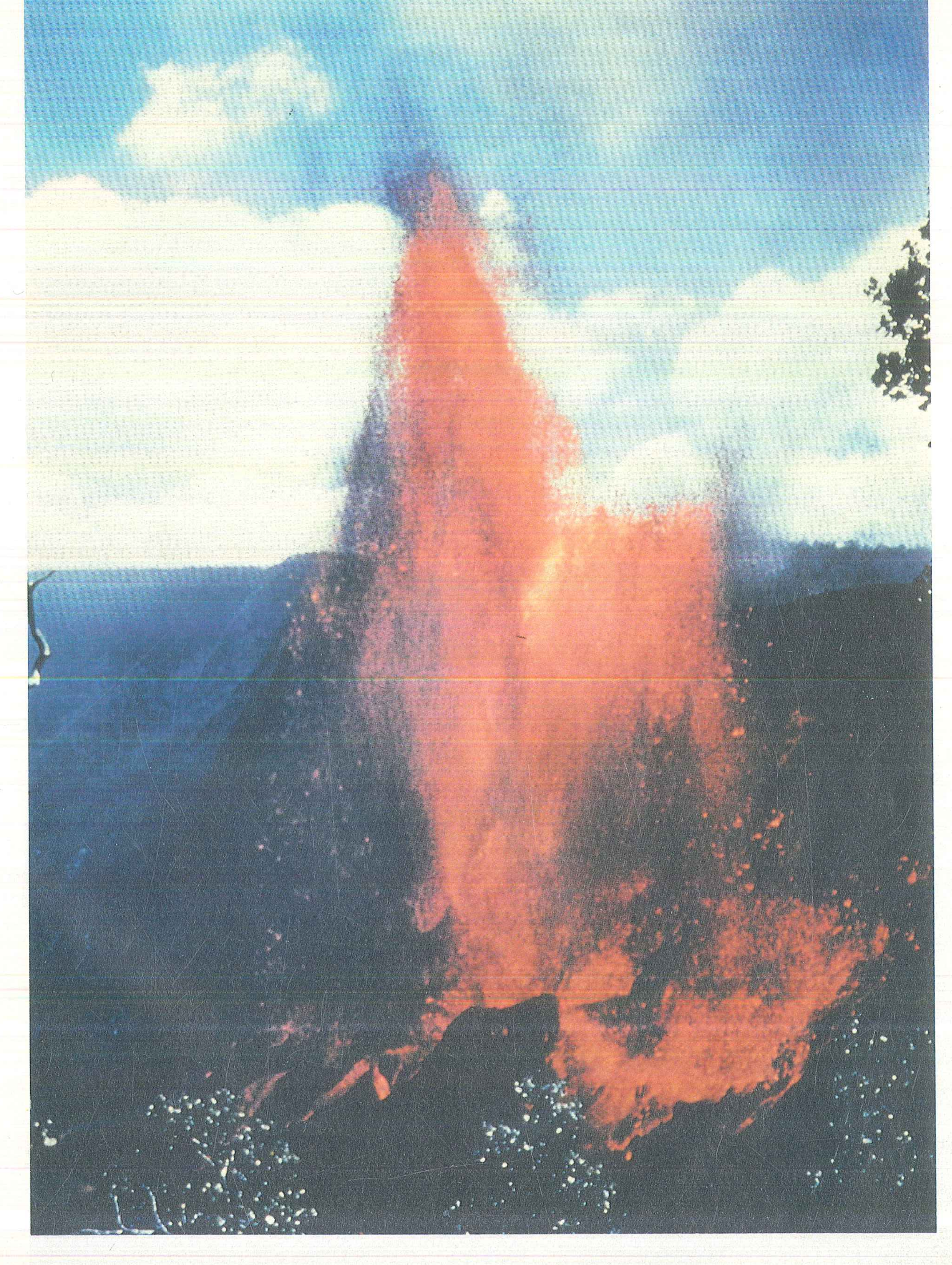


شكل 4 ـ 9

خريطة لجزيرة هاواى.
(أ) ـ تتكون الجزيرة من خمس براكين مجتمعة. فرق المناسيب 300 مترا.
(ب) ـ يوضح الشكل المنحدر البسيط الذى يميز بركان الدروع (بدون مبالغة رأسية).

شكل 4 ـ 10

منظر جوى لفوهة كيلوئيا مع بركان مونالوًا فى خلفية الصورة. يبلغ طول هذه الفوهة 5 كيلومترات وعرضها 2 كيلومترا. وفى داخل الفوهة يوجد منخفض يسمى حفرة النار. لاحظ الطريق الذى يعبر الفوهة كمقياس رسم.



ونظرا لتغير الظروف المكونة للبراكين فان جميع البراكين تختلف عن بعضها فى الشكل والحجم ورغم ذلك فان العلماء المتخصصين قد جمعوا البراكين المتشابهة فى طريقة فورانها فى مجموعات حسب نوع نظام فورانها وشكلها المميز وعلى هذا الأساس توجد ثلاثة مجموعات من البراكين هى: البركان المدرع ومخروط الرماد والمخروط المركب (البركان ذو الأطباق) (شكل 4 ـ 8).

البراكين المدرعة

عندما تندفع اللابة السائلة يأخذ البركان شكلا مقببا قليلا وعريضا يسمى **بالبركان المدرع** (شكل 4 ـ 8 جـ). وتتكون البراكين المدرعة اساسا من طفوح اللابة البازلتية وتحتوى على نسبة قليلة فقط من المواد الفلذبركانية. وفى العادة لا تتعدى زاوية انحدار هذه البراكين بضع درجات على الجوانب ولا تزيد عن 15° عند القمة، كما يتمثل ذلك فى براكين جزر هاواى وموناوا الذى يعد أكبر بركان على الأرض (هو واحد من خمسة براكين مدرعة تشكل مجتمعة جزيرة هاواى شكل 4 ـ 9). وتستقر قاعدة هذا البركان فوق قاع المحيط على عمق 5000 متر تحت سطح البحر، بينما يصل ارتفاعه 4170 مترا فوق سطح الماء. وقد تطلب بناء هذه الكومة الضخمة من الصخور البركانية حوالى المليون سنة، خلال عدة دورات من الفوران المتكرر. وقد بنيت كثير من الهياكل البركانية الأخرى بنفس الطريقة فى أعماق المحيط ومن بينها جزيرة ميدواى وجزر الجالاباجوس.

ويوضح فوران عام 1959 ـ 1960 لبركان كيلاؤوا الدورة النموذجية للفوران الهاوايى. ويقع بركان كيلاؤوا على جزيرة هاواى فى الطرف الجنوبى الشرقى من بركان مونا لوّا الأكبر حجما (شكل 4 ـ 10). أما الكالديرا التى على قمة بركان كيلاؤوا فهى عبارة عن منخفض بيضاوى الشكل بعمق حوالى 100 متر، ويبلغ طولها 5 كيلومترات وعرضها 3 كيلومترات، ويقع داخل هذه الفوهة منخفض آخر أكثر عمقا يسمى هاليماو أو حفرة النار، والتى تحتوى من وقت لآخر على بحيرة من اللابة دائمة الغليان يصل عمقها 400 متر، والى جانب كالديرا القمة هذه توجد عدة فوهات تملأ المنطقة المجاورة. وقد فار بركان كيلاؤوا أكثر من 50 مرة عبر التاريخ المكتوب. ويشهد على الطبيعة الهادئة لفوران هذه البراكين موقع مرصد بركان هاواى فوق حافة كالديرا القمة. وقبل سنتين من فوران عام 1959 ـ 1960، اكتشف علماء البراكين عن طريق مقياس الانحراف أن هناك انتفاخ فى منطقة القمة، وتشير الرّجات التى أحدثها صعود الصهير فى اتجاه السطح أن المواد المندفعة انطلقت من عمق يتراوح بين 60 الى 100 كيلومتر تحت السطح. وبدأت هذه الصخور المنصهرة تأخذ طريقها ببطء الى أعلى وتجمعت فى مخازن صغيرة تقع بين 3 الى 5 كيلومترات تحت القمة.

وقد بدأت المرحلة الأولى لفوران عام 1959 ـ 1960 فى شهر نوفمبر 1959 فى كيلاؤوا ايكى، وهى فوهة تقع شرقى كالديرا القمة. وكانت أول حادثة فوران عبارة عن لابة تنبعث من شرخ يبلغ طوله كيلومترا واحدا على امتداد الجدار الجنوبى للفوهة. وخلال يوم واحد انحصر الفوران فى فتحة واحدة حيث بلغ ارتفاع اللابة التى كانت تنبعث منها أكثر من 300 متر أحيانا (شكل 4 ـ 11). وقد سقطت معظم المواد المقذوفة فى الفوهة مكونة بحيرة من اللابة. وكان كلما بنى الرماد مخروطا صغيرا حول الفتحة حطمته اللابة المتجمعة فى الفوهة بعد امتلائها. ودامت هذه المرحلة حوالى الشهر، امتلأت خلالها الفوهة بالحمم لعمق يصل حوالى 125 مترا. وبعد هذه المرحلة مباشرة تسربت بعض هذه اللابة الملتهبة الى الفتحة فيما يشبه الماء المنسكب فى البالوعة.

استمرت الرّجات الأرضية مدة طويلة حتى بعد توقف نشاط كيلاؤوا ايكى. ويدل النشاط الاهتزازى على أن الصهير كان لا يزال يجرى تحت الأرض ولكنه اتجه الى مواقع أخرى فى جوانب البركان. وفجأة فى يوم 13 يناير 1960 شوهدت تشققات فى الأرض تمثل شرخا يبلغ طوله كيلومترا واحدا، قرب قرية كابوهو التى تبعد 45 كيلومترا شرقى كيلاؤوا أيكى. وهنا استمرت نافورات اللابة فى التدفق ليلا ونهارا لعدة اسابيع. وخلال الأيام القليلة الأولى، تجمعت اللابة المنصهرة فى شكل طفوح زحفت فى اتجاه البحر الذى يبعد 5 كيلومترات عن ذلك الموقع. وحالما غشت

شكل 4 ـ 1

انفجار بركان كيلوئيا ـ إيكى فى عام 1959 وتظهر اللابة كنافورة مرتفعة فوق مستوى الفوهة.

اللابة الساخنة مياه البحر، انطلقت سحب البخار الملبدة أحيانا بحزم انفجارية من الرماد الأسود حتى وصلت الى ارتفاع عدة آلاف من الأمتار فى الهواء. وفى الأيام القليلة اللاحقة انتشرت طفوح اللابة أفقيا لتحيط بمناطق الأرياف المجاورة. ولقد أقيمت السدود الأرضية لحماية قرية كابوهو ولكن دون جدوى. وخلال هذه المرحلة تم تدمير عدة مشاريع فى الوقت الذى زاد فيه حجم الجزيرة حوالى نصف كيلومتر فى أحد المواقع.

وصاحب نشاط كابوهو هبوط تدريجى فى منطقة القمة وتحطم قاع هاليمومو. وبعد حوالى ثلاثة اشهر من بداية النشاط، توقفت النافورة التى قرب كابوهو معلنة بذلك نهاية هذه المرحلة من الفوران. ولكن الجيولوجيين استمروا فى مراقبة هبوط الأرض وفى معاينة الصخور المنصهرة تحت قاع بحيرة اللابة فى كيلاؤوا أيكى. ومن هذه المعلومات نصل الى فهم أوضح لنشأة جزر هاواى ولظاهرة النشاط البركانى بصفة عامة.

ومن المسلم به الآن أن المراحل الأولى لبناء البركان المدرع تتكون من فوران متكرر لطفوح رقيقة من البازلت السائل. وعندما تتراكم هذه الطفوح لتصبح تركيبا بركانيا يحدث فوران على الجوانب بالاضافة الى فوران القمة. وكثيرا ما يعقب كل مرحلة من مراحل الفوران هذه، تحطم منطقة القمة. وفى المراحل الأخيرة لنمو البركان يصبح نشاطه متقطعا وتغلب عليه مقذوفات فلذبركانية. وبالاضافة الى أن حممه تزداد لزوجة وتنتج طفوحا سميكة وقصيرة، فإن هذا النشاط يعمل على زيادة انحدار منطقة القمة. وهذا يفسر لماذا تعتبر قمة موناكيّا، الذى هو بركان قديم وخامد الى الشمال، أكبر انحدارا من بركان مونالّوا.

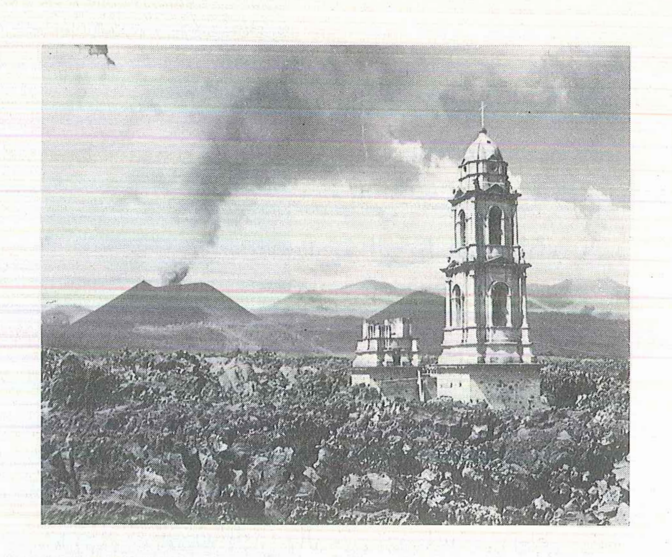
مخروطات الرماد

تبنى **مخروطات الرماد** من قطع اللابة المقذوفة، وهذا ما يدل عليه اسمها. وبما أن المواد الفلذبركانية تحافظ على زاوية سكون كبيرة (بين 30 و 40 درجة)، فان لهذا النوع من البراكين منحدرات شديدة. وعادة ما تكون مخروطات الرماد صغيرة الحجم، اذ لا يزيد ارتفاعها عن 300 متر، وهى غالبا ما تمثل مخروطات طفيلية فوق أو قرب البراكين الكبيرة. هذا بالاضافة الى كونها تتواجد فى مجموعات، حيث يبدو أن هذه المخروطات تمثل المراحل الأخيرة من النشاط فى منطقة الطفوح البازلتية. ويحدث هذا لأن الصهير المكون لها كان قد برد وأصبح أكثر لزوجة.

و أحد البراكين القليلة التى استطاع الجيولوجيون مشاهدة تكوينها من البداية الى النهاية هو مخروط فلذى يدعى باريكوتين. وسوف نسرد تاريخ هذا البركان كتوضيح لتكوّن وتركيب مخروط فلذى نموذجى.

ففى سنة 1943، وعلى مسافة 320 كيلومترا غرب مدينة المكسيك، ولد بركان باريكوتين (أنظر شكل 3 ـ 1). وموقع الفوران كان حقلا من الذرة يملكه ديونيزيو بؤليدو الذى شهد مع زوجته باولا هذا الحدث، عندما كانا يجهزان الحقل للزراعة. ولمدة أسبوعين قبل الفوران الأول كانت تحدث عدة هزات أرضية مما تسبب فى إنزعاج سكان قرية باريكوتين، على بعد حوالى 3.5 كيلومتر. وفى يوم 20 فبراير عند الساعة الرابعة بعد الظهر بدأ يتصاعد الدخان مع رائحة الكبريت من حفرة صغيرة كانت موجودة لمدة طويلة حسب ما يتذكره ديونيزيو. وخلال الليل، كونت قطع الصخور المتوهجة عرضا رائعا من الألعاب النارية. وفى اليوم التالى وصل ارتفاع المخروط الى حوالى 40 مترا. وفى اليوم الخامس زاد ارتفاع المخروط عن 100 متر. ومنذ ذلك الوقت كانت الفورانات الانفجارية تقذف بالقطع الساخنة الى ارتفاع 1000 متر فوق حافة الفوهة. كما تساقطت القطع الكبيرة قرب المخروط وبعضها بقيت مشتعلة وهى تتدحرج الى أسفل المنحدر. وبنت هذه الفلذ مخروطا بديع الجمال، بينما تساقط الرماد الدقيق على مساحة أكبر حيث حرق قرية باريكوتين ثم غطاها نهائيا. وفى بحر سنتين وصل ارتفاع المخروط الى 400 متر وزاد ارتفاعه عشرات الأمتار بعد ذلك.

وجاءت أول اللابة من شق انفتح شمالى المخروط

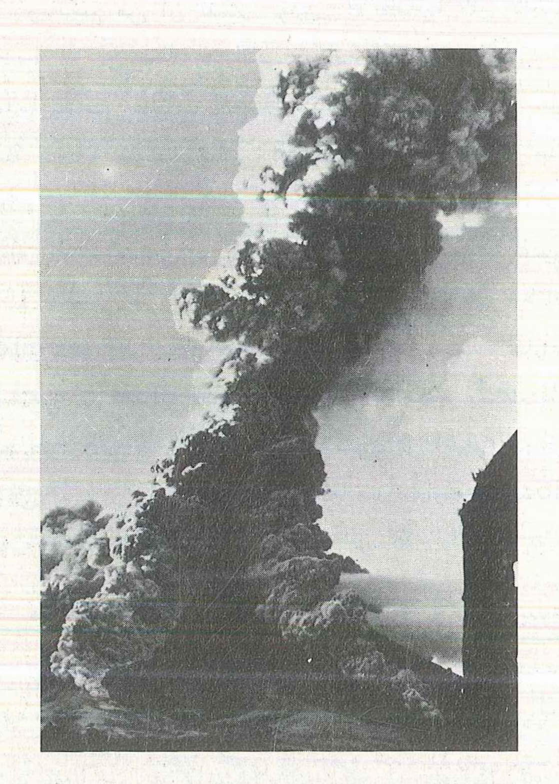


شكل 4 ـ 12
قرية سان وان بارانجاريكوتيرو تغمرها اللابة من بركان باريكوتين الذى يظهر فى خلفية الصورة. لم يبق سوى برج أحد الكنائس.

مباشرة. ولكن بعد عدة أشهر من النشاط بدأت تسيل اللابة من قاعدة المخروط نفسه. وفى شهر يونيو 1944 زحفت لابة صلصالية على قرية سان وان بارانجاريكوتيرو وغطتها بالكامل ولم يبقى سوى أحد بروجها (شكل 4 ـ 12). وتوقف النشاط بعد تسع ساعات بسرعة كما بدأ. والآن أصبح بركان باريكوتين واحدا من عدة براكين تنتشر فى هذه المنطقة من المكسيك. وقد لا يفورهذا البركان مرة ثانية شأنه فى ذلك شأن البراكين الأخرى المجاورة.

المخروطات المركبة

ان أبدع البراكين منظرا على وجه الأرض هى **المخروطات المركبة أو (البراكين ذات الطبقات)**. ومثلما تعزى أشكال البراكين المدرعة الى الطبيعة السائلة للابة المتراكمة فان المخروطات المركبة هى الأخرى تعكس طبيعة المواد المركبة منها. وتنتج المخروطات المركبة عندما تخرج اللابة الأنديسيتية اللّزجة نوعا. وقد يستمر المخروط المركب لمدة طويلة فى اخراج اللابة اللّزجة. ثم يتغير نظام الفوران فجأة ويبدأ البركان فى قذف المواد الفلذبركانية. وتسقط معظم المواد الفلذ بركانية قرب القمة مما ينتج عنه كومة من الرماد ذات جوانب شديدة الانحدار. ومع الوقت فان هذه الكومة سوف تغطيها اللابة. وفى بعض الحالات يتزامن هذان الحدثان. ويكون التركيب الناتج محتويا على طبقات متعاقبة من اللابة والمواد الفلذبركانية. وهناك مخروطان بلغا تكاملا ملحوظا هما جبل مايون فى الفلبين وفيوجياما فى اليابان، اللذان يمثلان الشكل التقليدى للبراكين ذات الطبقات التى تمتلك قمة شديدة الانحدار وجوانب طفيفة الانحدار.



شكل 4 ـ 13
السحب النارية (العاصفة المستعرة) تنطلق على منحدر جبل مايون بالفلبين عام 1968 .والمبنى الذى فى مقدمة الصورة هو عبارة عن بقية من كنيسة حيث التجأ عدة مئات من الأشخاص خلال فوران عام 1814 ولكنهم لقوا حتفهم بسبب تدفق طينى غمرهم جميعا.

وبالرغم من أن للمخروطات المركبة مناظر رائعة، الا أنها تمثل أكثر أنواع البراكين عنفا. ففوراتها عادة ما يكون مفاجئا ومدمرا، كما حدث فى عام 79 ميلادية عندما فار البركان الايطالى الذى يعرف باسم فيسوفياس. فقبل ذلك الفوران كان فيسوفياس خامدا لعدة قرون. ورغم وقوع هزات أرضية خفيفة محذرة مما هو آت، فان هذا البركان كانت تغطيه طبقة من الأعشاب الكثيفة أظهرته بمظهر الوداعة. وفى 24 أغسطس انتهى الهدوء. وفى الأيام الثلاث التالية كانت مدينة بومبيى (قرب نابولى) قد دفنت ودفن معها 2000 من سكانها البالغ عددهم 20,000. وبقيت تحت الأنقاض لسبعة عشرة قرنا حتى تم العثور عليها وكشفها.

وبالرغم من أن تدمير بومبيى الايطالية كان كارثة حقيقية الا أن هناك فورانات بركانية أكثر تدميرا تحدث عندما تقذف الغازات المحملة بالرماد الملتهب وتنطلق على هيئة سحابة مستعرة تسمى **العاصفة الوهاجة**. ان هذه الطفوح، التى تبدو مظلمة فى وضح النهار ولها وهج أحمر اثناء الليل، تتقدم عبر المنحدرات البركانية بسرعة تفوق 150 كيلومترا فى الساعة (شكل 4 ـ 13). ورغم الكثافة العالية لهذه العواصف المتوهجة فهى محمولة بواسطة الغازات المستعرة التى تنطلق من قطع اللابة الساخنة. ولذلك فان هذه المواد التى قد تحتوى على قطع كبيرة من الحمم، تنساب أسفل المنحدر فى ظروف خالية تماما من مقاومة الاحتكاك حيث تعمل الغازات المتمددة عمل الوسادة الواقية.

ففى سنة 1902، وقعت عاصفة وهاجة فى جبل بيليه، وهو بركان صغير فى جزر الهند الغربية، ودمرت مدينة سانت بيير وقضت على جميع سكانها البالغ عددهم 28 ألف نسمة، باستثناء سجين محمى فى حفرة تحت الأرض وصانع أحذية وعددٍ من الأشخاص كانوا فوق السفن فى الميناء (شكل 4 ـ 14). وقد نقل لنا ساتيس ن. كولمان فى كتابه براكين حديثة وقديمة، صورة حية لهذه الحادثة التى استمرت أقل من 5 دقائق وذلك بقوله: ـ

(لقد شاهدت تدمير سانت بيير. لقد وقعت المدينة فريسة لحزمة ضخمة من النار. فقد مات ما يقارب الـ 40.000 نسمة دفعة واحدة. ودمرت ثمانى عشر سفينة ما عدا السفينة التجارية البريطانية رودّام. وقد سمعت بأنها فقدت أكثر من نصف ركابها. وتمكن أحد بحارتها المشارف على الموت من الاقلاع بها وانقاذها. وقد وصل قاربنا روريما الى مدينة سانت بيير فى صباح يوم الخميس. وقبل دخولنا الى المراسى بساعات كنا نشاهد ألسنة النار والدخان تتصاعد من جبل بيليه. ولقد كان المنظر رائعا. وعندما اقتربنا من سانت بيير استطعنا أن نميِّز ألسنة اللهب الحمراء وهى تخرج من الجبل فى تتابع ومندفعة نحو السماء بكميات هائلة. وهناك سحب كثيفة من الدخان الأسود معلقة فوق البركان، وكان هناك هدير مكتوم ومستمر، كما لو كانت أكبر مصفاة للنفط فى العالم تحترق فوق قمة جبل. كان هناك انفجار عنيف عند الساعة السابعة وخمسة وأربعون دقيقة. وكان ذلك بعد وصولنا مباشرة، حيث انفجر الجبل الى قطع دون سابق انذار. ولقد انسلخ جانب من البركان وأقلع نحونا جدار من اللهب. وأحدث دويا كدوى ألف مدفع. ووصلتنا موجة اللهب فكانت فوقنا وحولنا مثل حزمة من البرق. انها كعاصفة من نار. رأيتها تضرب السفينة التجارية قرابلر ضربة مباشرة وتقلبها. واندلعت فيها النيران من البداية الى النهاية ثم غرقت. واتجهت النيران مباشرة الى مدينة سانت بيير ومواقف السفن واختفت المدينة أمام أعيننا. لقد اشتدت حرارة الهواء وكنا فى وسط الزوبعة. وكلما



شكل 4 ـ 14
سانت بيير كما بدت بعد فوران جبل بيليه 1902 .

ضرب عمود النار مياه البحر بدأت تغلى وصعدت منها أعمدة من البخار... لم يستغرق اندلاع النيران من البركان سوى بضع دقائق، أحرقت النيران،وأتت على كل شىء مسته خلالها. آلاف البراميل من الخمر كانت مخزنة فى سانت بيير قد انفجرت بفعل الحرارة الشديدة. وقد سالت الكحول المحترقة فى الشوارع حتى وصلت الى البحر. وقد سببت هذه الكحول المشتعلة فى حرائق بسفينة الروريما عدة مرات... وقبل أن ينفجر البركان كانت أرض الجزيرة تغص بالسكان وبعد الانفجار لم يشاهد أحد على قيد الحياة فوق الجزيرة.

عند مقارنة الدمار الذى أصاب سانت بيير والدمار الذى أصاب مدينة بومبيى، نلاحظ فروقا عدة. فمدينة بومبيى قد دفنت تماما بحادثة استغرقت ثلاثة أيام، بينما تم تدمير سانت بيير فى لحظة قصيرة. ولم تغطِّ مبانيها سوى طبقة رقيقة من مخلفات الرماد. كما أن مدينة بومبيى قد بقيت سليمة ما عدا أسقفها التى تهدمت تحت وطأة ثقل الرماد. أما فى سانت بيير، فقد تهدمت حتى الجدران المبنية بالحجارة التى يصل سمكها الى حوالى المتر، وتصرّمت حجارتها مثل قطع لعبة الدومينو المبعثرة، كما اقتلعت الأشجار من جذوعها والمدافع من متاريسها.

ويصاحب عادة (العاصفة المستعرة)، الصهير كثير اللزوجة فى النهاية الجرانيتية التركيب (أنظر جدول 4 ـ 1). وتعتبر الكتل المنتفخة، المسماة **قباب اللابة** مظهرا آخر من المظاهر المصاحبة للبراكين التى تخرج مواد كثيرة اللزوجة. وتنتج هذه الأشكال عندما تخرج اللابة اللزجة الكثيفة من فتحة ضيقة ببطء (شكل 4 ـ 15). وكثيرا ما تعمل قباب اللابة عمل المغاليق مما يؤدى الى الفورانات الغازية التى تعقبها. وفى بعض الأحيان تنشأ قباب اللابة على جوانب البراكين. واذا كبر حجمها فانها تشكل خطرا منتظرا لسكان المناطق المحيطة بها. فاذا انزلق الجزء الأعلى من القبة تحت عوامل الجاذبية، فان فقدان الضغط المحبوس قد يكون بداية لاندلاع انفجارى للصهير الذى تحته. وقد تسبب هذه الانفجارات الموجهة الى الجوانب كوارث طبيعية، كتلك التى حدثت يوم 18 مايو 1980 فى جبل سانت هيلينز.

الكالديرا

لقد ذكرنا سابقا أن لبعض البراكين فوهات كبيرة جدا تسمى كالديرا. ومن المعتقد أن بعض أنواع الكالديرا تتكون عندما تنهار قمة البركان، حتى تظهر غرفة الصهير المفرغة جزئيا (شكل 4 ـ 16). وتقع بحيرة الفوهة (كريترليك) بولاية أوريجون التى يبلغ عرضها 8 ـ 10 كيلومترات وعمقها 1300 متر، فى مثل هذه الفوهات (شكل 4 ـ 17). لقد بدأت بحيرة الفوهة هذه فى التكوين منذ حوالى 7000 سنة، عندما ثار البركان الذى سمى فيا بعد بجبل مازاما وخرج منه رماد كثيف مثل رماد بركان فيسوفياس. ولكن هذا الفوران التاريخى كان أكبر بكثير، فقد خرج منه ما يقدر بخمسين الى سبعين كيلومترا مكعبا من المواد البركانية. ونظرا لثقل هذه الكمية وافتقارها الى الدعم من أسفل فقد تحطم جزء يبلغ 1500 متر من المخروط الذى كان ارتفاعه 3600 متر. وبعد تهدّم المخروط ملأت مياه الأمطار الكالديرا المتكونة. وبعد فترة من الزمن تكوّن مخروط صغير من الرماد يسمى جزيرة ويزارد ، أى الجزيرة الساحرة، والتى تذكرنا اليوم بأخبارالأمس المنسية.

ولقد نتجت كالديرا عن الفوران الخارق للبركان الأندونيسى كراكاتووا عام 1883 وسمع هذا الانفجار الذى لم يسبق له مثيل من مسافة 4800 كيلومتر فى جنوب استراليا، بينا تطاير البيوميس والرماد آلاف الأمتار فى الجو. وبعد ما يقرب من يومين كاملين من الظلام الدامس، بدأت السماء تنقشع، واتضح أن ثلثى هذه الجزيرة قد اختفى. وربما

شكل 4 ـ 15

فى أعقاب فوران 1980 لجبل سانت هيلينز بدأت قبة كبيرة من اللابة فى النمو.

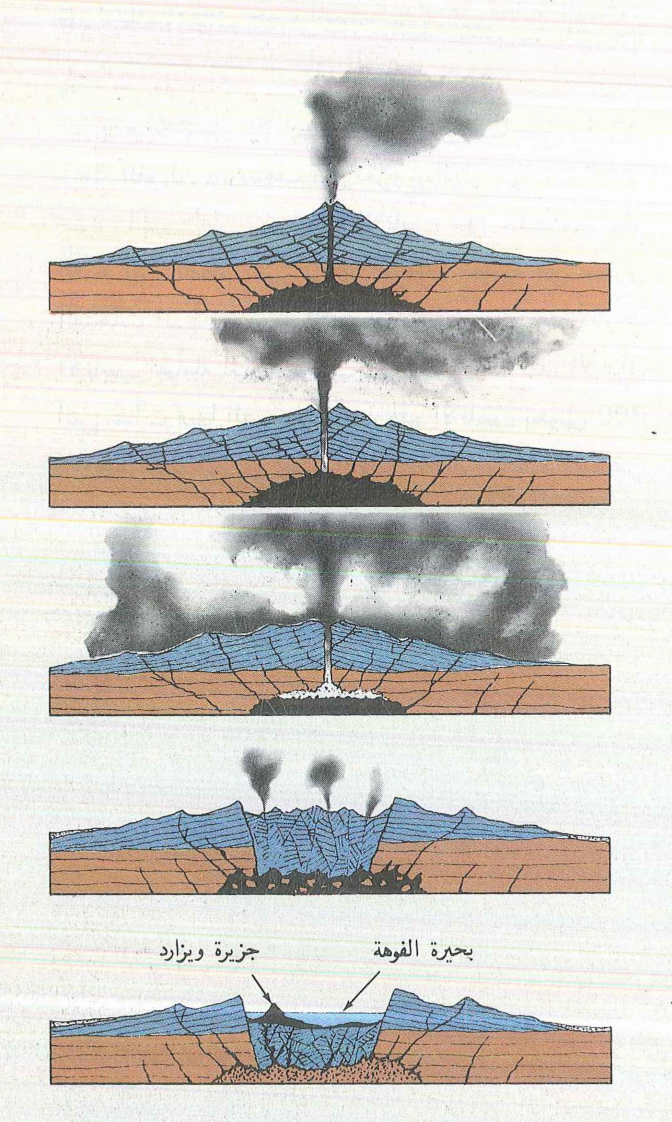


انهار جزء من البركان وملأ الفراغ الذى تركه تدفق 18 كيلومترا مكعبا من الصهير. وكان البيوميس (الصخر الخفاف) يشكل معظم المواد المقذوفة. وبعد الانفجار بقيت هذه الكمية الضخمة طافية مما أعاق الملاحة فى مضائق جزر صوندا المجاورة. ورغم خلوّ جزيرة كراكاتووا من السكان الا أن الموجة البحرية المدمرة التى بلغ ارتفاعها 30 مترا، والتى سببها الانفجار، قد أدت الى وفاة 36.000 نسمة فى منطقتى جاوة وسومطرة القريبتين. وتوجد عدة أحجام من الكالديرا يبلغ عرض أكبرها 20 كيلومترا. وبطبيعة الحال، نتجت بعض أنواع الكالديرا من الهبوط الذى يحدث عند تغيّر وجهة الصهير نحو جوانب الفوران، مثل الكالديرا مونالووا وكيلاؤوا. بينما ينتج بعضها الآخر عن حادثة الانفجار التى تقذف بالجزء الأعلى من البركان كما حدث فى جبل هيلينز عام 1980. وحيث أن معظم الكالديرات تكونت ما قبل التاريخ فان طريقة تكونها غير معروفة تماما. ولو أن هناك محاولات لتتبع حالات الفورانات القديمة التى انتجت هذه الأشكال، الا أنه من الصعب تحديد الكمية والكيفية التى انفجرت بها بدقة الى جانب تحديد الجزء الذى هبط الى غرفة الصهير التى فرغت جزئيا من محتوياتها.

الرقاب والأنابيب البركانية

تتعرض البراكين كغيرها من مناطق اليابسة الى عوامل التجوية والتعرية باستمرار. وتضمحل مخروطات الرماد بسهولة لأنها تتكون من مواد غير هشة. ورغم ذلك فان كل التركيبات البركانية سوف تذوى وتتلاشى. وبتقدم نشاط التعرية فان الصخور التى تتكون منها الفتحة كثيرا ما تقاوم هذا النشاط وقد تبقى بارزة فوق ما حولها حتى بعد أن تختفى معظم مكونات المخروط. ويعتقد بأن شب روك (الصخرة السفينة) بولاية نيومكسيكو هى عبارة عن ذلك التركيب المسمى بالرقبة البركانية (شكل 4 ـ 18). فهذا التركيب الذى يفوق فى ارتفاعه ناطحات السحاب هو واحد من عدة تركيبات تبرز بوضوح من الأراضى الصحراوية الحمراء فى الجنوب الغربى للولايات المتحدة.

ويعتقد بأن القنوات التى تغذى معظم البراكين متصلة بمصدر للصهير مستقر قريبا من سطح الأرض. وعلى النقيض من ذلك فان بعض الأنابيب الغنية بمعادن الحديد والماغنيسيوم تمتد فى شكل أوعية لتصل مباشرة الى الغلاف



شكل 4 ـ 16
تتابع الأحداث التى كونت بحيرة كريتر بولاية أريجون. منذ حوالى 7000 سنة تحطمت قمة جبل مازما السابقة عقب فوران شديد أدى الى تفريغ غرفة الصهير. أما الفورات اللاحقة فقد أدت الى تكوين مخروط الرماد المسمى جزيرة ويزارد وقد ساهمت مياه الأمطار والمياه الجوفية فى تكوين البحيرة.

الوهن بعمق 200 كيلومتر. ولهذا فانه يعتقد بأن المواد المكونة لهذه الأنابيب هى عبارة عن عينات من الغلاف الوهن التى لم يطرأ عليها تغيرّ كبير خلال صعودها الى السطح. ولهذا فان الجيولوجيين يعتبرون هذه الأنابيب نوافذ يطلون منها على أعماق الأرض حيث أنها تساعدنا على معاينة الصخور التى توجد عند هذه الأعماق الكبيرة.

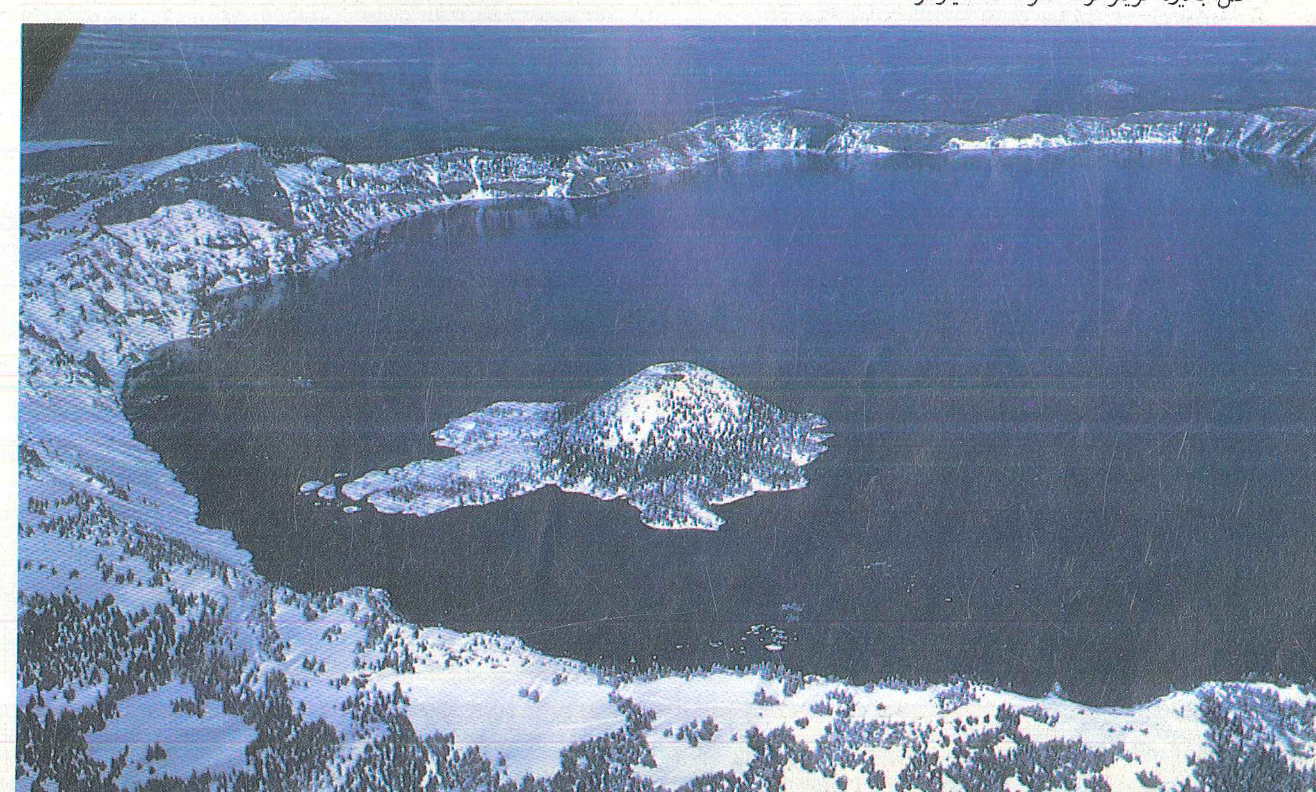
وأحيانا تصل الأنابيب البركانية قرب السطح ولكن مرحلة الفوران قد تتوقف قبل خروج اللابة فوقه. وغالبا ما يحتوى الجزء العلوى من هذه الأنابيب على خليط من قطع اللابة ومن القطع التى مزقتها الغازات الهاربة من جدران الفتحات البركانية. ومن التركيبات المعروفة من هذا النوع، الأنابيب الحاملة للماس بجنوب افريقيا، فهناك تقدر الأعماق التى نشأت فيها الصخور المكونة لهذه الأنابيب بحوالى 200 كيلومتر، حيث يكون الضغط كافيا لتكوّن الماس وبعض المعادن التى عادة ما تتكون تحت ظروف الضغط العالى. وفى هذه الحالات، ينشأ الماس على هيئة بلورات فى الأعماق ثم يتم نقلها الى أعلى عن طريق الجزء السائل من الصهير.

قارة أطلانتس المفقودة

تهتم أغرب الأساطير شهرة عبر التاريخ باختفاء القارة المسماة أطلانتس. وحسب ما كتبه أفلاطون أن امبراطورية الجزيرة المسماة أطلانتس قد اختفت تحت البحر فى يوم وليلة. ويعتقد بأن هذه الحادثة التى وقعت بين 1500 و 1400 سنة قبل الميلاد، والتى كانت سببا فى أفول حضارة المينوئيين، كانت نتيجة لفوران بركانى مدمر. وقد أسفرت جهود البحث فى شرق البحر المتوسط عن أدلة مفادها أن هناك صلة واضحة بين أطلانتس وجزيرة سانتورين البركانية. وقد أصبحت سانتورين، التى كانت بركانا ضخما، خمسة جزر

شكل 4 ـ 17

تحتل بحيرة كريتر فوهة قطرها 15 كيلومتراً.

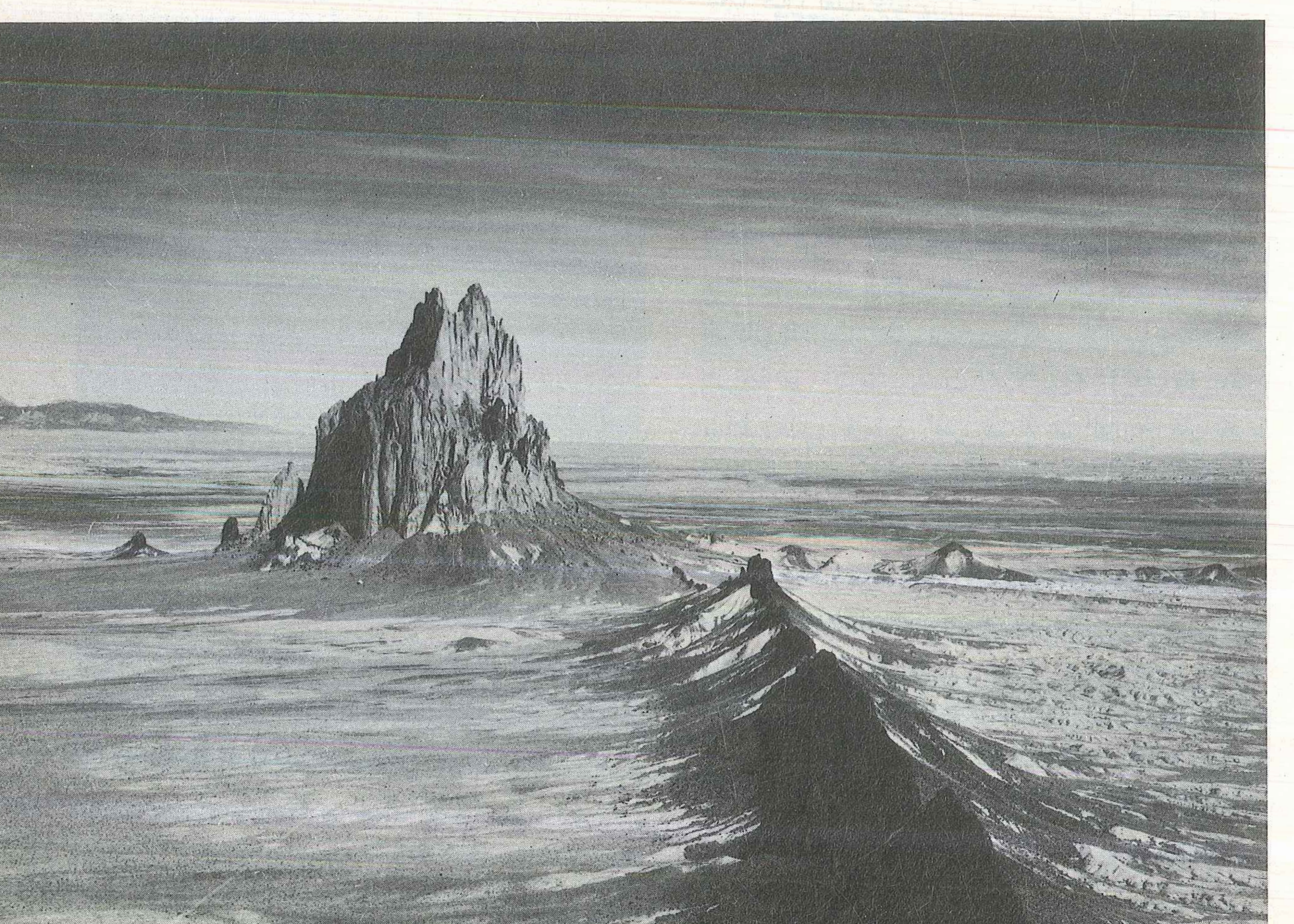


تقع فى منتصف المسافة بين اليونان وجزيرة كريت. وقد أوضحت الأدلة المجمعة من عينات أخذت من بقايا سانتورين، أن فورانا بركانيا عنيفا حدث حوالى عام 1500 قبل الميلاد. وقد نتج عن هذا البركان كتلة ضخمة من الرماد والبيوميس بلغ سمكها 60 مترا. وقد غطت كثيرا من مدن الحضارة المينوئية وحفظت آثارها تحت الرماد. كما تساقط الرماد فى مناطق بعيدة مثل جزيرة كريت وقتل المحاصيل والمواشى التى كانت ترعى على الأعشاب المحملة بالرماد. وقد تحطم بركان سانتورين بعد قذف هذه الكميات الهائلة من المواد البركانية وكون كالديرا عرضها 14 كيلومترا. كما نشأت بدون شك أمواج بحرية ضخمة ومدمرة من جراء فوران وتحطم بركان سانتورين. وهذه بدورها أدت الى انتشار الرعب والدمار فى القرى الساحلية لجزيرة كريت والجزر الشمالية المجاورة.

ومما يؤكد العلاقة بين فوران بركان سانتورين واختفاء قارة أطلانتس تلك الحقائق المعروفة عن أفول حضارة المينوئيين، بين 1500 و 1400 سنة قبل الميلاد. وبدأت تظهر بعض تقاليد المينوئيين فى الحضارة اليونانية عند حوالى 1400 سنة قبل الميلاد.

ويرجح معظم المؤرخين أن فوران بركان سانتورين قد ساهم فى تدهور حضارة المينوئيين. فهل كان هذا الفوران هو

شكل 4 ـ 18
الصخرة السفينة بمكسيكو الجديدة، هى بقية رقبة بركان كشفتها عوامل التعرية.



السبب الرئيسى فى اختفاء هذه الحضارة العظيمة؟ أم أن هناك عوامل أخرى؟.. هل كانت سانتورين هى جزيرة قارة أطلانتس التى وصفها أفلاطون؟.. ومهما كانت الاجابات على هذه الأسئلة فالواقع أن البراكين تعمل على تغيير مجرى الأحداث تغييرا مفاجئا.

البراكين والمناخ

لم تكن الفكرة القائلة بأن فوران البراكين يسبب تغيرات فى مناخ الأرض وليدة اليوم، ولكنها لا تزال مقبولة لتفسير بعض ظواهر التغيرات المناخية. فالفوران الانفجارى ينفث كميات هائلة من الغازات والأجسام الدقيقة الى الجو. كما ترسل الفورانات القوية مواد الى ارتفاعات عالية تصل الى طبقات الجو العليا حيث تنتشر حول الكرة الأرضية، وتظل معلقة لعدة أشهر أو ربما سنوات. وتعتمد هذه النظرية على أساس أن هذه المواد البركانية المعلقة سوف تحجب قسطا من الأشعة الشمسية الساقطة على الأرض، وبالتالى تقلل من درجة حرارة الجو.

وربما تعزى أول فترة باردة الى واقعة بركانية هى حادثة «السنة التى بدون صيف»، التى أعقبت بركان جبل طامبورا سنة 1815 بأندونيسيا. لقد ساد الاعتقاد حينذاك بأن سبب برودة صيف عام 1816 فى عدد من مناطق النصف الشمالى من الكرة الأرضية بما فى ذلك انجلترا الجديدة بشرق الولايات المتحدة، كان سببه سحابة الغبار البركانى الذى قذفه جبل طامبوروا.

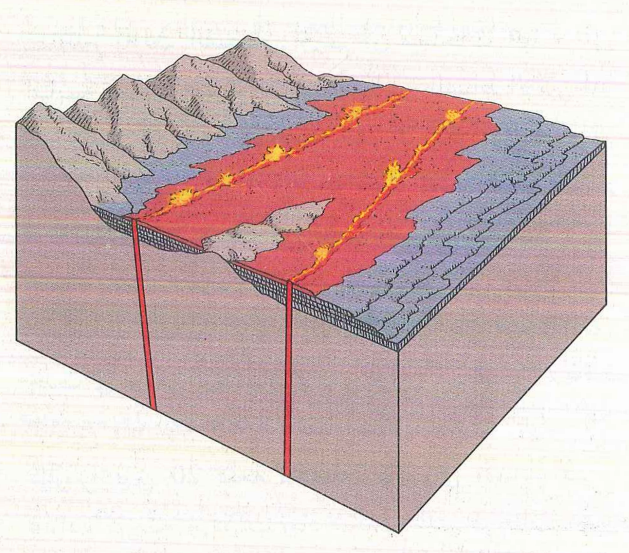
وعندما فار بركان جبل سانت هيلينز فى 18 مايو عام 1980، كان هناك حدس فورى بالتأثير المحتمل لهذه الواقعة على المناخ. هل يمكن لفوران مثل هذا أن يغير المناخ؟ ورغم ضخامة فوران بركان سانت هيلينز الا أن فورانا مشابها له يحدث فى مكان ما من العالم كل سنتين الى ثلاث سنوات. وتشير الدراسات التى تناولت هذه الوقائع أن تبريدا طفيفا يحدث فعلا فى طبقات الجو السفلى. ولكنه من المعتقد أن هذا التبريد هو من الضآلة (أقل من عشر درجة مئوية) مما قد لا يترتب عليه أى أهمية. وفى الرابع من أبريل 1982، فار بركان الشيشون، وهو بركان صغير معروف فى شبه جزيرة يوكاتان بالمكسيك. وكانت سحابة الرماد وغازات الكبريت التى ارتفعت فى الجو ضخمة، وربما كانت أكبر عشرين مرة من سحابة جبل سانت هيلينز. وعقب الانفجار تنبأ العلماء بانخفاض تدريجى فى درجات الحرارة فى نصف الكرة الشمالى قد يصل من 0.3 الى 0.5 مئوية. وهذا التغيّر فى درجة الحرارة هو من الأهمية بحيث يمكن ملاحظته بين التغيرات الحرارية الأخرى ولكنه من الضآلة بحيث لا يؤثر فى حياتنا اليومية. ومع هذا كله، فان كثيرا من العلماء يتفقون على أن هذا التبريد العالمى قد يغيرّ من نمط الدورة المناخية العامة لمدة محدودة. وقد يؤثر هذا التغيّر على المناخ فى بعض المناطق. ولكن لا يزال التنبؤ بتغيرات اقليمية محدودة يشكل تحديا كبيرا لعلماء المناخ.

وتوضح الأمثلة المتقدمة تأثير واقعة واحدة من وقائع الفوران البركانى. فمهما كانت هذه الواقعة كبيرة فان أثرها يظل صغير نسبيا ولفترة قصيرة. ولذلك، لكى يكون للنشاط البركانى تأثير يذكر خلال فترة طويلة، فلا بد أن تتكرر عدة فورانات كبيرة تفصل بينها فترات زمنية قصيرة. فلو حدث هذا، فان طبقات الجو العليا سوف تكون محملة بالغبار البركانى لدرجة تقلل بوضوح كمية الاشعاع الشمسى الساقط على الأرض. وحيث أنه لا يوجد ما يدل على وقوع نشاط بركانى انفجارى لفترة طويلة عبر التاريخ، فان نظرية الغبار البركانى عادة ما تذكر كسبب محتمل للتغيرات المناخية قبل التاريخ كالعصر الجليدى.

ولكن لا يمكن اعتبار العصر الجليدى فترة تجلّد مستمر. فهو بدلا من ذلك يتسم بتناوب فترات من تقدم وانحسار الجليد. ويطلق على الفترات الدافئة فترات ما بين التجلّد. ولذلك فلو اعتبرنا أن النشاط البركانى هو القوة الرئيسة المسببة للزمن الجليدى، فلا بد أن يكون هناك تناوب بين فترات التبركن الانفجارى وفترات الهدوء النسبى. ولا تزال الفكرة القائلة بأن النشاط البركانى هو سبب العصر الجليدى

غير واضحة. وحتى المؤيدين لهذه الفكرة يعتقدون بأن المعلومات المتوفرة ليست كافية لفصل الحادثات الجليدية عن الحادثات البين جليدية. ولذلك فان أهمية النشاط البركانى كسبب للزمن الجليدى لا تزال موضع غموض وتخمين مستمر. ويلخص ستيفن شنايدر، وهو باحث نشط ومؤلف مرموق فى مجال التغيرات المناخية، حالة الشك الحاضرة لدى كثير من العلماء فيما يخص نظرية الغبار البركانى فيقول:

> **ورغم أنه قد يكون للبراكين دور مهم فى احداث التغيرات المناخية،واذا ما صح ذلك، فانه يجب علىَّ محاولة تعلم طرق التنبؤ بفوران البراكين بدلا من صرف جلَّ وقتى فى وضع النماذج المناخية غير أنه وحتى الآن ليس بامكاننا التأكد من أن التأثير الذى تركته الانفجارات البركانية فى المناخ يمكن تتبعه فى السجل المناخى.**

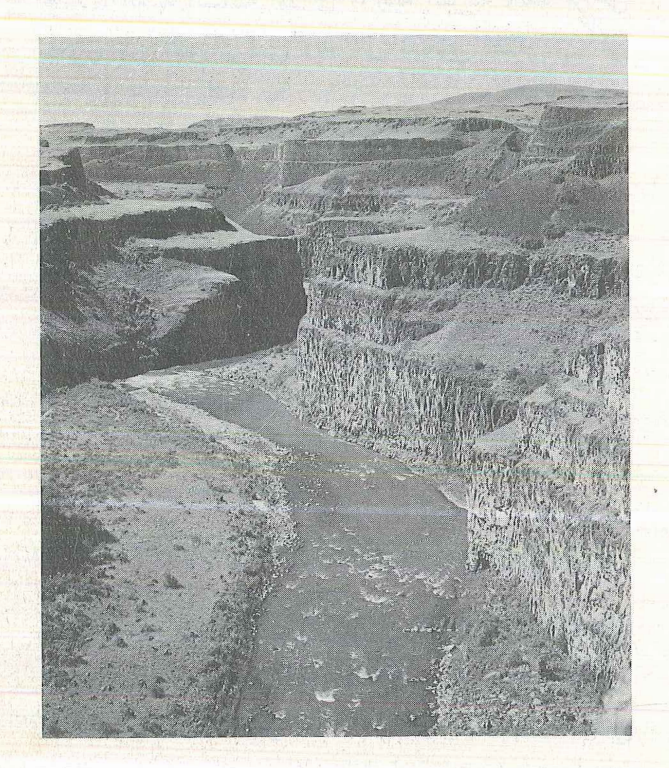


شكل 4 ـ 19

بازلت فيضانى. يتفجر الصهير من تشققات فى طفوح سبق أن تبلرت لتنتج تراكما سميكا من صخور البازلت.

فوران الشروخ وتراكم الطفوح الفلذبركانية

بالرغم من الفوران البركانى من فوهة مركزية هو الأكثر ألفة، الا أن كميات أكبر من المواد البركانية تخرج من شقوق أو تشققات فى القشرة الأرضية تسمى شروخا. فبدلا من بناء مخروط معزول، تخرج اللابة من عدة فتحات على امتداد هذه الشقوق الضيقة، مما ينتج عنه توزيع المواد البركانية على رقعة واسعة (شكل 4 ـ 19). وتعرف منطقة شاسعة من الشمال الغربى للولايات المتحدة باسم مرتفع كولومبيا، قد تكونت بهذه الطريقة. ففى هذا الموقع أخرج العديد من فورانات الشروخ لابة بازلتية شديدة السيولة. فقد غطت السطوح المتتابعة، التى بلغ سمك كل منها 50 مترا، سطح الأرض القديم وبنت سهلا من اللابة يصل سمكه فى بعض الأمكنة بين 2 و 3 كيلومترات (شكل 4 ـ 20). ومما يدل على سيولة اللابة أن بعضها بقى جاريا لمسافة 150 كيلومترا من مصدره الأصلى. ومن المناسب أن توصف هذه اللابة



شكل 4 ـ 20

طوح البازلت فى مرتفع كولومبيا.

بمصطلح بازلت الفيضان. ورغم أن مساحات قليلة على اليابسة تغطيها طفوح البازلت، الا أن النشاط الأكبر لهذا النوع يقع فى قاع المحيطات حيث لا يمكن رؤيته. وعلى امتداد مرتفعات وسط المحيطات حيث تنشط عملية انتشار قاع المحيطات، تضيف فورانات الشروخ كل يوم قاعا جديدا للبحار. فأرض آيسلندة التى تقع فوق مرتفع وسط المحيط، قد شهدت عدة فورانات شرخية من النوع الذى يحدث فى مراكز الانتشار. وأكبر فوران آيسلندى سجله التاريخ وقع سنة 1783. فقد أنتج منخسفا طوله 25 كيلومترا فوق 20 فتحة منفصلة، كانت فى البداية تخرج غازات كبريتية وتراكمات رماد شكلت عدة مخروطات فلذية صغيرة. وقد أعقب هذا النشاط انسكاب هائل لبازلت شديد السيولة. فقد زاد حجم اللابة المنسكبة فى هذا الفوران، الذى سمى بفوران لاكى، على 10 كيلومترات مكعبة. وقد تجمعت اللابة السائلة أولا فى الأودية القريبة وبعد مراحل متكررة من الفوران أدى ذلك الى تشكيل تضاريس على هيئة هضبة منبسطة.

وعندما يخرج الصهير الغنى بالسليكا من الشروخ فان القاعدة أن يكوّن **طفوحا فلذبركانية** محتوية فى مجملها على الرماد وقطع البيوميس. وعندما تقذف هذه المواد الفلذ بركانية فانها تنطلق بعيدا عن الفتحة بسرعة عالية وقد تغطى مساحات شاسعة قبل أن تستقر. وتشبه طفوح اللابة الى حد كبير المواد الفلذبركانية بعد استقرارها.

وتوجد تراكمات ضخمة من الطفوح الفلذبركانية فى عدة مناطق من العالم وعادة ما تكون مصاحبة للكالديرات الضخمة. ويعتقد بأن أول مرحلة لتكوّن هذه الطفوح تبدأ عندما يستقر جسم من صهير ذى لزوجة عالية قرب السطح محدثا تقوسا فى الصخور التى تعلوه. ثم تسمح تشققات السقف للصهير المحمل بالغازات بالوصول الى السطح حيث ينتج عن ذلك فورانات انفجارية قصيرة. وفى النهاية يعمل فقدان الصهير من أسفل السطح على تهدم السقف.

وربما تكون هضبة اليلوستون فى شمال غرب ولاية وايومنج بأمريكا أشهر مكان للطفوح الفلذبركانية. ففى هذا المكان يوجد جسم صهير ضخم غنى بالسليكا يقع على بعد بضعة كيلومترات تحت السطح. وقد حدث تشقق فى الصخور التى تعلو غرفة الصهير عدة مرات خلال المليونى سنة الماضية ونتج عن ذلك فورانات ضخمة مصحوبة بتكون كالديرا. ففى الجزء الشمالى الغربى لمنتزه يلوستون، تم اكتشاف 27 غابة متحجرة الواحدة فوق الأخرى. ففى فترات توقف النشاط البركانى تنمو غابة فوق السطح البركانى المتكون ثم يغطيه الرماد فى مرحلة الفوران التالية. وبتفحص الجدول رقم 4 ـ 2 يتضح أن هناك كميات كبيرة من المعادن الفلذبركانية التى خرجت فى منطقة اليلوستون. ولحسن الحظ لم يحدث فوران من هذا النوع فى أيامنا هذه.

التبركن وحركية الألواح

لقد كانت نشأة الصهير موضوع جدل جيولوجى منذ بداية هذا العلم. كيف تنشأ عدة أنواع من الصهير لكل منها تركيب مختلف؟ لماذا تخرج البراكين الواقعة داخل الأحواض المحيطية العميقة لابة أنديسيتية؟ لماذا تسود اللابة البازلتية فوق سطح الأرض، بينما يحتل معظم الصهير الجرانيتى مواقع أحواض ترسيب محيطية عميقة؟ لماذا تحيط بالمحيط الهادى منطقة ذات نشاط نارى والتى تسمى «بحزام النار»؟ هناك معلومات جديدة حصلنا عليها عن طريق نظرية حركية الألواح التى ما فتئت تزودنا باجابات لهذه الأسئلة. سوف نفحص أولا أصل الصهير ثم نعرج الى توزيع النشاط البركانى حول الكرة الأرضية كما يتضح لنا من خلال نموذج حركية الألواح.

نشأة الصهير

نحن نعلم أن الصهير يمكن أن ينتج عندما تسخن الصخور الى درجة الانصهار. وفى الظروف السائدة على السطح تبدأ الصخور ذات التركيب الجرانيتى فى الانصهار

عند درجة تقرب من 750° م بينما تحتاج الصخور البازلتية الى درجات حرارة تفوق 1000° م قبل أن تنصهر. وهناك فرق هام بين انصهار مادة مكونة من مركب واحد مثل الثلج، وانصهار الصخور النارية التى هى خليط من عدة معادن متباينة. وبينما يذوب الثلج عند درجة 0° م، فان معظم الصخور النارية تنصهر فى درجة حرارة يصل مداها عدة مئات من الدرجات. وعند تسخين الصخور فان أول صهير يتكون يحتوى على نسبة أكبر للمعادن ذات درجات إنصهار منخفضة من النسب المئوية لذات المعادن فى الصخر الأصلى. واذا ما استمر الانصهار فان تركيب الصهارة سوف يقترب تدريجيا من التركيب العام للصخور التى استمدت منها. وغالبا ما تتوقف عملية الانصهار قبل إنتهائها. وينتج عن هذه العملية المسماة **بالانصهار الجزئى** معظم، ان لم يكن كل أنواع الصهير المعروف.

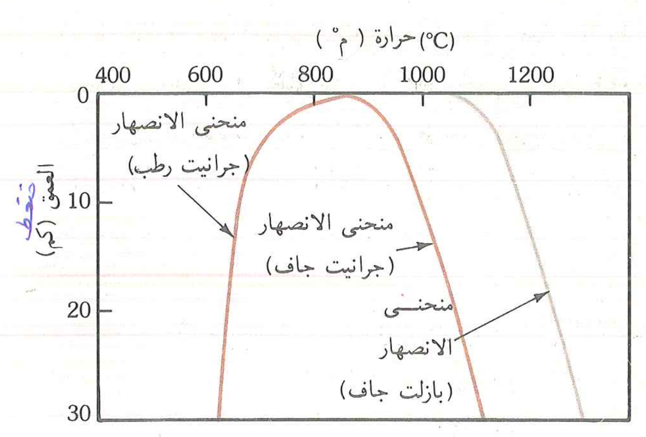
ومن النتائج الهامة للانصهار الجزئى الحصول على صهارة محتواها من السليكا أعلى من الصخر الأم. تذكّر أن محتوى الصخور البازلتية من السليكا قليل نسبيا وأن محتوى الصخور الجرانيتية من السليكا أعلى بكثير نسبيا. وبذلك فان الصهير الناتج عن الانصهار الجزئى هو أقرب الى الطرف الجرانيتى فى تدرج التركيب من مواد الصخر الأم، التى استمدت منها. وكما سنرى فان هذه الفكرة تساعدنا على تفهم التوزيع الجغرافى للأنواع المختلفة من النشاط البركانى.

ما هو مصدر الحرارة التى تصهر الصخور؟ أحد هذه المصادر هى الحرارة المنبعثة أثناء التحلل الاشعاعى للعناصر المشعة، والذى يعتقد بأنها تتركز فى الجزء العلوى من الوشاح وفى القشرة الأرضية. ولقد لاحظ العاملون فى المناجم منذ زمن أن الحرارة تزداد مع العمق. ورغم أن هناك تفاوتا فى معدل الزيادة من مكان الى آخر، فهى تصل فى المتوسط الى 30° م للكيلومتر الواحد فى الجزء العلوى من القشرة. وتعرف هذه الزيادة المطرّدة فى درجة الحرارة مع العمق **بتدرج الحرارة الأرضية**.

فلو كانت الحرارة هى العامل الوحيد الذى يحدد انصهار الصخور لأصبحت الأرض كرة منصهرة فيما عدا قشرة خارجية رقيقة متصلبة. ولكن الضغط هو أيضا يزداد مع العمق. وحيث أن الصخور تتمدد بالحرارة فان الصخور المطمورة تحتاج الى حرارة أكبر لتنصهر، وذلك للتغلب على أثر الضغط المحصور. وعادة ما تسبب الزيادة فى الضغط المحبوس زيادة فى درجة انصهار الصخور. والعامل الآخر الهام الذى يؤثر فى درجة انصهار الصخور هو محتواها من الماء. فكلما كان المحتوى المائى اكبر كلما كانت درجة الانصهار أقل الى حد معين. ويتضاعف أثر الماء فى العمل على انخفاض درجة الانصهار كلما زاد الضغط. وتبعا لذلك فان الصخور (الرطبة) المضغوطة تمتلك درجة انصهار أقل من الصخور (الجافة) ذات نفس التركيب. وبينما تنصهر الصخور (الجافة) عند درجة حرارة أقل فى حالات الضغط المنخفض فان الصخور المشبعة بالماء تنصهر بسهولة فى حالات الضغط المرتفع (شكل 4 ـ 21). ولهذا فان درجة حرارة انصهار الصخور تتوقف على درجة الحرارة والضغط المحصور والمحتوى المائى، بالاضافة الى التركيب المعدنى.

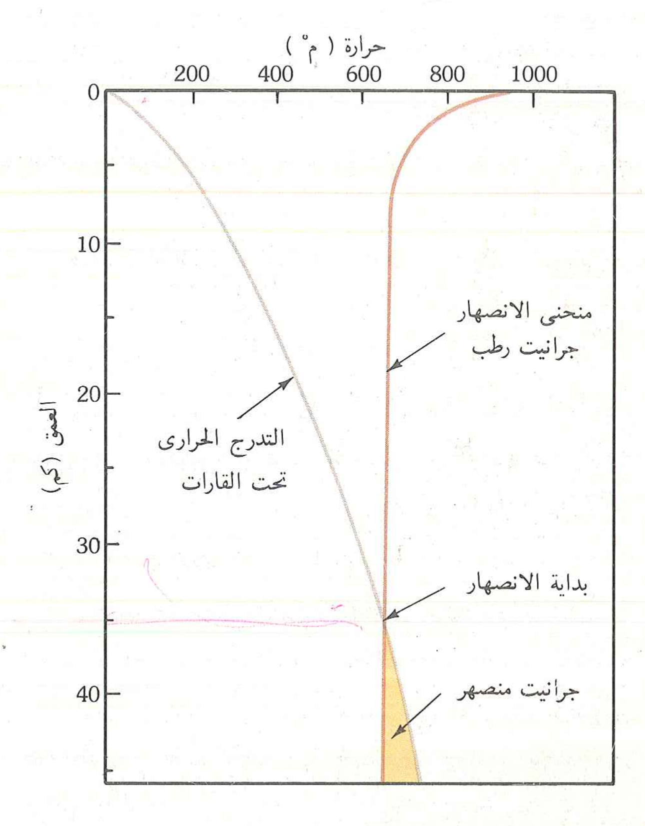
وفى الطبيعة، تنصهر الصخور المطمورة فى الأعماق لأحد السببين الآتيين: **الأول** وهو تسخين الصخور الى درجة انصهارها، **والثانى** هو أن انخفاض الضغط المحيط يمكن أن يؤدى الى انخفاض فى درجة الانصهار الى درجة يمكن أن يبدأ فيها إنصهار الصخور دون زيادة فى درجة الحرارة. وتلعب كلا العمليتين دورا مهما فى نشأة الصهير.

ويعتقد بأن معظم الصهير البازلتى ينشأ من الانصهار الجزئى لصخور البيريدوتيت المكون الأساسى للجزء العلوى من الوشاح. وتؤكد الدراسات المعملية أن الانصهار الجزئى لهذا الصخر الجاف الفقير فى السليكا، ينتج عنه صهير ذو تركيب بازلتى. وحيث أن صخور الوشاح توجد تحت حرارة وضغط مرتفعين فان انصهارها ينشأ من انخفاض فى الضغط المحصور. ويحدث هذا مثلا عندما تصعد صخور الوشاح الى أعلى كجزء من تيارات الحمل البطيئة الحركة.



شكل 4 ـ 21

منحنيات نموذجية لنقاط انصهار البازلت والجرانيت. لاحظ أنه وقت إنصهار الجرانيت والبازلت الجافين عند درجات حرارة مرتفعة بزيادة العمق، فإن درجة إنصهار الجرانيت الرطب تتناقص كلما ارتفع الضغط الكامن.



شكل 4 ـ 22

منحنى الانصهار النظرى والتدرج الحرارى الأرضى الذى يؤيد الحقيقة القائلة بأن ردم الجرانيت الرطب لعمق حوالى 35 كيلومترا سوف ينتج عنه بعض الانصهار.

ونظرا الى أن الصهير ينشأ فى عمق يصل الى عدة كيلومترات تحت السطح، فمن المتوقع أن معظم هذه المواد تبرد ثم تتبلّر قبل وصولها الى السطح. ولكن، عندما يصعد الصهير البازلتى الجاف، فان الضغط المحصور يتضاءل تدريجيا وبالتالى يقلل من درجة الانصهار. ويبدو أن الصهير البازلتى يصعد بسرعة بحيث أنه عندما يصل الى مستوى أبرد يتم تعويض النقص فى درجة الحرارة بهبوط فى درجة الانصهار ولذلك فانه تكثر الانسكابات الكبيرة للصهير البازلتى فوق سطح الأرض.

وعلى النقيض من ذلك، فانه يسود الاعتقاد بأن الصهير الجرانيتى ينشأ عن طريق الانصهار الجزئى للصخور الغنية بالماء والتى تقع تحت ضغط ودرجة حرارة كبيرين. تذكّر أن الزيادة فى الضغط تقلل الى حد كبير من درجة انصهار الصخور المحتوية على كمية كبيرة من الماء. ولذلك فانه يعتقد بأن ردم المواد الرطبة الغنية بالكوارتز الى أعماق قليلة نسبيا قد يكون كافيا لحدوث الانصهار (شكل 4 ـ 22). ولذلك، فعلى عكس ما هو معروف عن الصهير البازلتى من أنه ينصهر عند انخفاض الضغط، فإنه يتوقع أن ينشأ الصهير الجرانيتى تحت ظروف تتسم بضغط متزايد.

وعندما تصعد الصهارة الجرانيتية ينخفض الضغط المحصور، وهذا بالتالى يساعد على التقليل من تأثير الماء على الهبوط فى درجة حرارة الانصهار. ولذلك فانه على العكس من صهير البازلت المفتقر للماء، الذى ينتج انسكابات كبيرة للّابة، فان معظم الصهير الجرانيتى يفقد قدرته على الحركة قبل الوصول الى السطح وينتج عن ذلك ظواهر جوفية كبيرة مثل الباثوليث. وفى تلك الحالات التى يصل فيها الصهير المشبع بالسليكا الى السطح فان القاعدة أن تنشأ الطفوح الانفجارية الفلذبركانية مثل تلك التى أنتجت مرتفع البيلوستون.

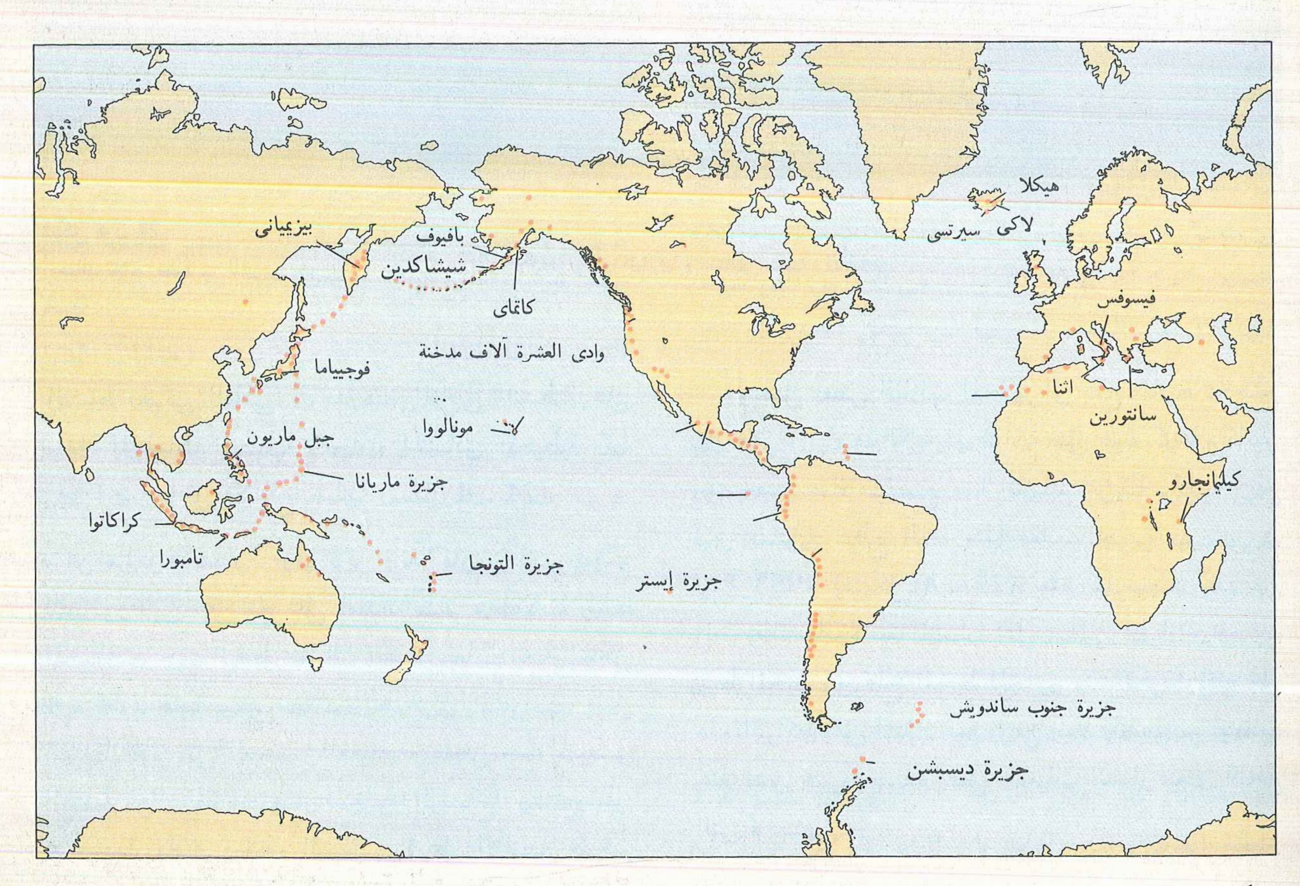
وحيث أن الصهير الأنديسيتى هو متوسط فى التركيب بين الصهير البازلتى والصهير الجرانيتى، فان خواصه تكون

متوسطة كذلك. ورغم أن الصهير الأنديسيتى هو شائع نسبيا، فان طفوحه تكون أكثر لزوجة، وبالطبيعة فهى أكثر سمكا وأقل انتشارا من تلك الطفوح التى تنتج عن الصهير البازلتى الذى هو أكثر سيولة. وعلاوة على ذلك فان نسبة كبيرة من الصهير الأنديسيتى تخرج على هيئة قطع فلذبركانية.

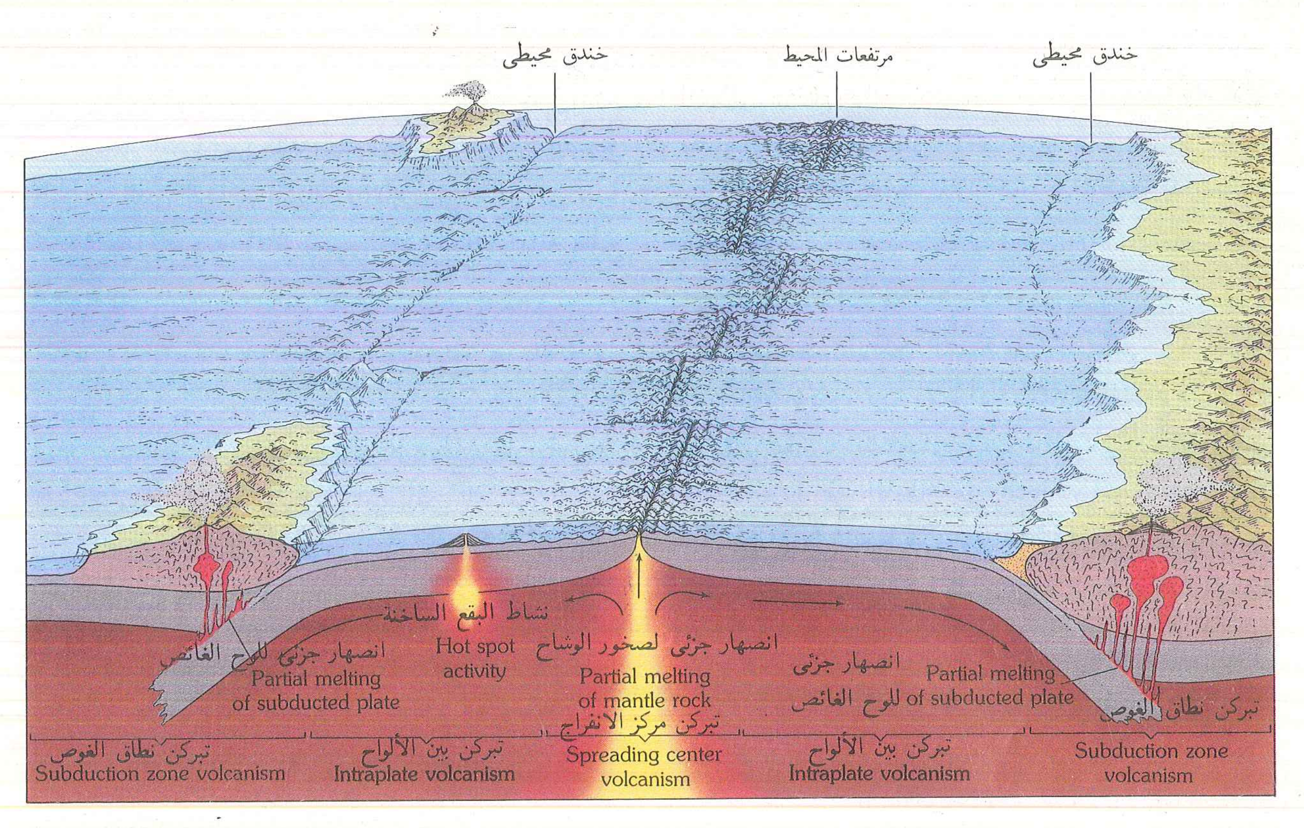
ورغم الاعتقاد بأن معظم الصهير ينتج عن الانصهار الجزئى، الا أن تركيبه قد يتغير بمرور الزمن تغيرا جذريا. فمثلا عندما يصعد جسم صهيرى الى أعلى، فان الصخور المحيطة قد تندمج معه. وبينما يتم امتصاص الصخور المحيطة يتغير التركيب المعدنى للصهير. هذا بالاضافة الى أننا نذكّرك بما تمت مناقشته فى سياق الحديث عن تتابع تفاعلات بووين من أنه عند تصلب الصهير تحدث عملية التبلر التجزئى. وينتج عن ذلك صهير يختلف تماما عن المواد الأم. وقد يبرر هذه العملية على الأقل جزئيا قدرة البركان الواحد على اخراج لابة متفاوتة تفاوتا كبيرا فى تركيبها الكيميائى.

توزيع النشاط النارى

تقع معظم البراكين النشطة المعروفة، والتى يزيد عددها عن 600 بركان، قرب الاطراف المتقاربة للألواح (شكل 4 ـ 23). هذا بالاضافة الى النشاط البركانى المكتف الذى يحدث بعيدا عن الأنظار على امتداد مراكز الانتشار لنظم مرتفعات وسط المحيطات. وفى هذا الجزء سوف نتفحص ثلاثة نطاقات للنشاط البركانى فى اطار علاقة هذا النشاط



شكل 4 ـ 23
موقع بعض البراكين حديثة التكوين.



شكل 4 ـ 24

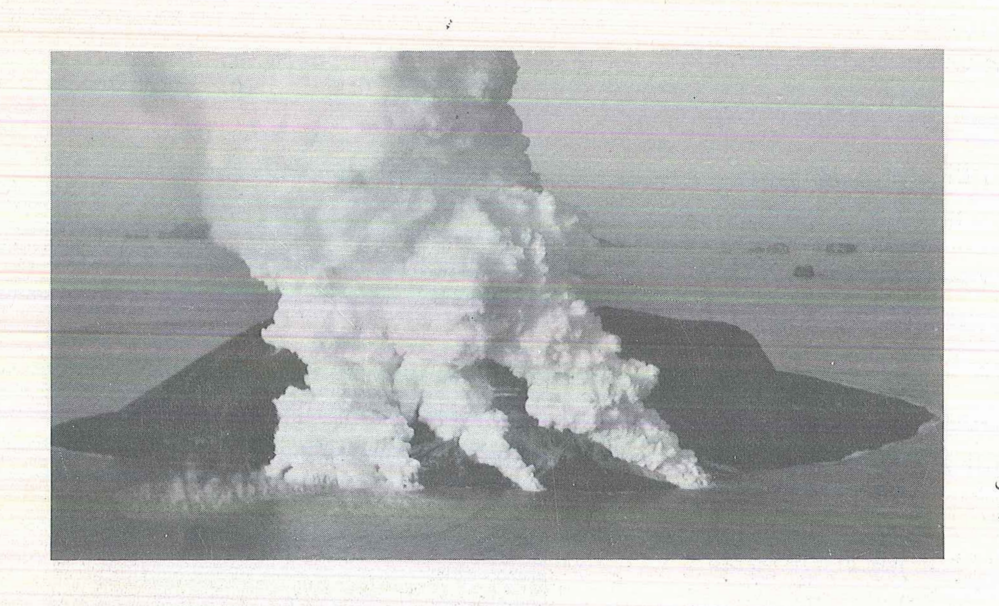
هناك ثلاثة نطاقات للتبركن يقع اثنان منها فى حواف الألواح ويقع الثالث فى مناطق داخل الألواح نفسها.

بالنشاط الحركى العالمى. وتوجد هذه المناطق النشطة على امتداد المرتفعات المحيطية وبمحاذاة الخنادق المحيطية، كما توجد أيضا داخل الالواح نفسها (شكل 4 ـ 24).

تبركن مراكز الانتشار وكما ذكر آنفا فان أكبر حجم للصخور البركانية ينتج على امتداد نظم مرتفعات وسط المحيطات، حيث تنشط عمليات انتشار قيعان البحار (شكل 4 ـ 24). فبينما يبتعد الغلاف الصخرى المتصلب، يقل الضغط المؤثر على الصخور العميقة. ويخفض هذا الهبوط فى الضغط من درجة انصهار صخور الوشاح. وينتج عن الانصهار الجزئى لهذه الصخور (وعلى الأخص صخر البيريدوتيت) كميات كبيرة من الصهير البازلتى الذى يصعد الى أعلى ليملأ الشقوق الناشئة حديثا.

ويصل بعض البازلت المنصهر الى قاع المحيط مما ينتج عنه طفوح شاسعة للابة أو يتراكم على هيئة كومة بركانية. وفى بعض الحالات ينتج هذا النشاط مخروطا بركانيا يرتفع فوق مستوى سطح البحر مثلما فعلت جزيرة سورتسى فى سنة 1963 (شكل 4 ـ 25). هذا كما يوجد عدد من المخروطات البركانية المغمورة على جانبى نظام مرتفعات وسط المحيط وفى قاع المحيط المجاور. ولقد تكونت كثير من هذه البراكين على امتداد قمة مرتفع وسط المحيط، ثم ابتعدت عند نشوء قشرة جديدة بفعل عمليات انتشار قيعان البحار التى لا تنتهى.

تبركن منطقة غوص الألواح ينحصر تواجد الصخور ذات التركيب الأنديسيتى والجرانيتى فى القارات وفى سلاسل



شكل 4 ـ 25
جزيرة سورتسى التـى ظهـرت من المحيط جنوب ايسلندة مباشرة فى سنة 1963 .

الجزر البركانية مثل الجزر الأليوتشية التى تقع على أطراف المحيطات. وقد وجد أن قليلا منها فقط يقع فى البراكين التى توجد فى الأحواض العميقة للمحيطات. هذا بالاضافة الى أن معظم البراكين النشطة التى تخرج صهيرا أنديسيتيا تقع فى مناطق قارية أو أقواس الجزر المحاذية للخنادق المحيطية العميقة. تذكّر أن الخنادق المحيطية هى الأماكن التى تغوص فيها كتل من القشرة المحيطية الى اسفل لتصل الى الجزء العلوى من الوشاح.

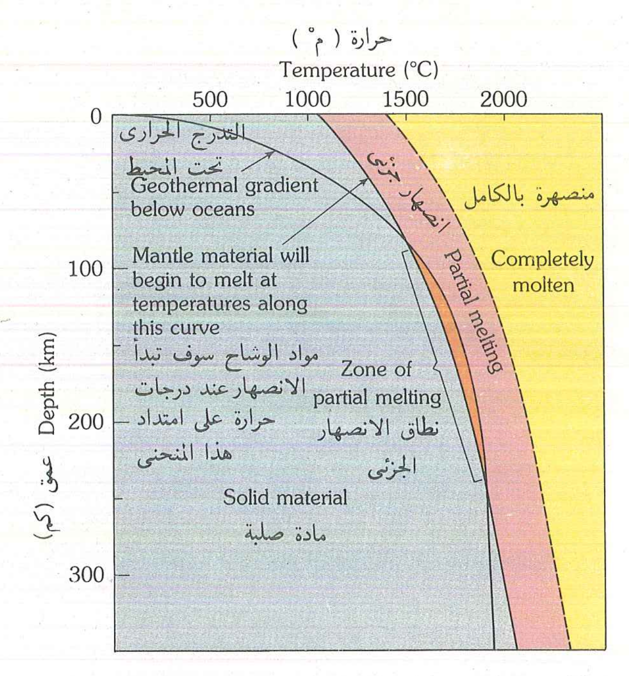
وعندما يصل الغلاف الصخرى المحيطى البارد الى عمق حوالى 125 كيلومترا، تحدث عملية الانصهار. وينتج عن انصهار صخور البازلت المحمل بطبقات من الرسوبيات، صهير ذو تركيب أنديسيتى. وبعد انصهار كمية مناسبة يطفو هذا الصهير الى أعلى لأنه أقل كثافة من الصهارة المحيطة به. ومن أمثلة هذه العملية المستمرة تكوّن براكين جبال الأنديز التى اشتق منها اسم الأنديسيت.

وبالمثل فان بعض الصهير الجرانيتى قد ينشأ عند منطقة الغوص. ومن المعتقد بأن المواد الأم هى عبارة عن رواسب تمت تجويتها فوق اليابسة ونقلها الى مناطق غوص الألواح. وتحتوى هذه الرسوبيات المحمولة فوق الألواح المحيطية الغائصة على نسبة كبيرة من السليكا وعند انصهارها تنتج صهيرا ذا تركيب جرانيتى.

وحزام النار ذو علاقة بمواقع الغوص والانصهار للوح المحيط الهادى. وتخرج البراكين فى هذه المنطقة النشطة جدا صهيرا له محتوى متوسط من السليكا. وتعتبر سلسلة جبال الكاسكيد فى شمال غرب الولايات المتحدة من هذا النوع.

التبركن داخل الألواح من الصعب تحديد العمليات التى تحدث النشاط البركانى داخل الألواح الصلبة. وقد نجم عن هذا النشاط، مثل ما هو موجود فى ييليوستون ومناطق أخرى قريبة، طفوح من البيوميس الرايوليتى ومن الرماد، بينما تغطى طفوح البازلت مناطق شاسعة من شمال غرب الولايات المتحدة. ولكن هذه الصخور ذات التركيب المعدنى المتباين يعلو بعضها بعضا فى عدة مواقع.

وحيث أن اللابة البازلتية توجد على القارات كما توجد داخل الأحواض المحيطية، فالسبب الأكثر احتمالا لهذا النشاط هو الانصهار الجزئى لصخور الوشاح العلوية. تذكّر أن الهزات الأرضية تشير الى أن جزيرة هاواى تستمد فى الحقيقة صهيرها من الجزء العلوى للوشاح. ويشير أحد الاحتمالات الى أن نسبة صغيرة من صخور الغلاف الوهن



شكل 4 ـ 26

منحنى نموذجى للتدرج الحرارى الأرضى ودرجة انصهار الصخور وذلك لتوضيح سبب الانصهار الجزئى فى الغلاف الوهن.

توجد على حالة منصهرة. ويوضح شكل 4 ـ 26 تدرج الحرارة الأرضية ومنحنى الانصهار الذى يحسب حسابا لهذا النطاق من الانصهار الجزئى. فاذا كانت هذه الظروف موجودة فعلا فقد يحتوى النطاق الذى يقع من عمق 100 الى 250 كيلومترا على بعض الصهارة. ومن هذه الجيوب المنصهرة المسماةالبقع الساخنة، يعتقد بأن ألسنة من الصهير تصعد الى أعلى، وغالبا ما تصل الى سطح الأرض. ويعتقد بأن البقع الساخنة هذه تقع تحت هاواى وتحت آيسلندة وربما كانت موجودة فى الماضى تحت مرتفع كولومبيا.

وعلى العموم تخرج اللابة والرماد جرانيتية التركيب من فتحات تقع الى جانب اليابسة من حواف القارات. وهذا يعطى الانطباع بأن انصهار القشرة القارية قد يكون هو أحد العمليات المسئولة عن نشأة هذا النوع من الصهير المشبع بالسليكا. ولكن ما هى الطريقة التى تسبب انصهار كميات كبيرة من مواد القارات؟ يقترح أحد الافتراضات أن كتلة سميكة من القشرة القارية تقع أحيانا فوق لسان صاعد للصهير أى فوق بقعة ساخنة. وبدلا من وصول الصهير الى السطح لينتج انسكابات من اللابة البازلتية، مثلما حدث فى مناطق بالمحيط الهادى، كجزر هاواى مثلا، فان الصهير فى اللسان الصاعد يستقر فى أعماق الأرض. وفى هذه الحالة ينتج عن استيعاب انصهار صخور المنطقة المجاورة المصحوب بعمليات التبلّر التجزئى، تكوّن صهير ثانوى غنى بالسليكا يصعد ببطء الى أعلى. وتستمد الكتلة الصاعدة حرارتها من النشاط المستمر للبقعة الساخنة، مما يساعد على صعودها الى أعلى. وقد يكون ما حدث فى منطقة منتزه البيلوستون ناتج عن مثل هذا النشاط. ورغم أن نظرية حركية الألواح قد أجابت على عدة أسئلة كانت تقلق علماء البراكين لعشرات السنين، فان عددا جديدا من الأسئلة بدأ يطرح نفسه. ومن هذه الأسئلة مثلا: لماذا يقع انتشار قاع البحار فى بعض المناطق دون غيرها؟.. كيف تنشأ البقع الساخنة؟.. هذان السؤالان فقط من بين عدد من الأسئلة التى لا يوجد لها اجابات حتى الآن.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ اذكر ثلاثة عوامل تحدد طبيعة الفوران البركانى مبيِّنا ما هو دور كل منها؟

2 ـ لماذا يعتبر البركان الذى يتغذى من صهير شديد اللزوجة أكبر خطرا من البركان الذى يتغذى من صهير شديد السيولة؟

3 ـ ما الفرق بين لابة الباهو هو ولابة الآه آه؟

4 ـ اذكر الغازات الرئيسية المتحررة اثناء فوران البراكين.

5 ـ كيف تختلف القنابل البركانية عن كتل الفتات الفلذ بركانى؟

6 ـ قارن وفرق بين الأنواع الرئيسة للبراكين من حيث الحجم والشكل وطرية الفوران.

7 ـ اذكر بركانا مشهورا لكل نوع من الأنواع الثلاثة.

8 ـ باختصار، قارن بين فوران بركان كيلاؤ وا وفوران بركان باريكوتين.

9 ـ ميز بين نوع الدمار الذى احدثه فوران بومبيى والدمار الناشيء عن فوران سانت بيير.

10 ـ صف نشأة بحيرة كريتر. قارن ذلك بالكالديرا التى تكونت خلال فوران كراكاتوا.

11 ـ ما هى الصخرة السفينة (شب روك) وكيف تكونت؟

12 ـ كيف يختلف الفوران الذى أدى الى بناء مرتفع كولومبيا عن الفوران الذى ينشيء القمم البركانية؟

13 ـ أين ينشأ عادة فوران الشروخ؟

14 ـ ما هو الانصهار الجزئى؟ وما هى العوامل التى تؤثر عادة على درجة انصهار الصخور؟

15 ـ حيث أن الصهير البازلتى ينشأ عند أعماق كبيرة. لماذا يصل غالبا الى سطح الأرض بدلا من تبلره فى أعماق تحت سطحها؟

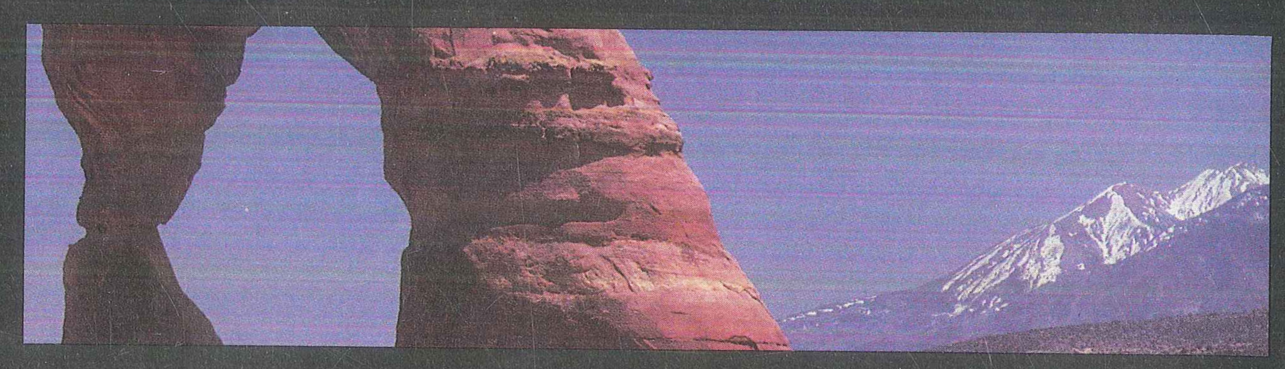
16 ـ تحت أى الظروف ينشأ الصهير الأنديسيتى؟ وكذلك الصهير الجرانيتى؟

17 ـ أين ينشأ الصهير البازلتى؟

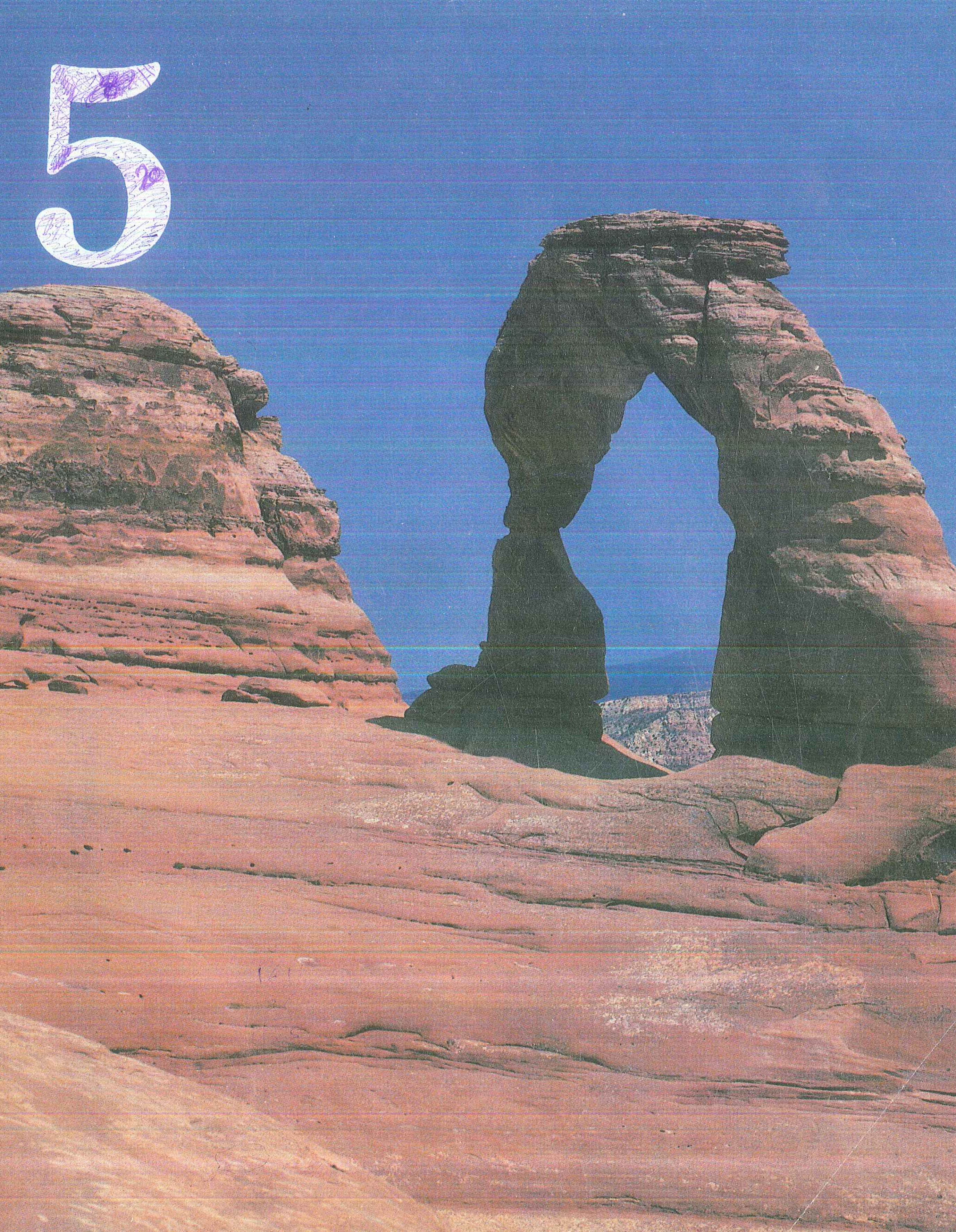
الكلمات الدالة :

أنبوب المدخنة	fumarole	فوهة بركانية	crater
انصهار جزئى	partial melting	قبة اللابة	lava dome
بازلت الفيضان	flood basalt	كالديرا	caldera
بركان	volcano	لابة الآه آه	aa lava
بركان دروع	shield volcano	لابة الوسائد	pillow lava
بقعة ساخنة	hot spot	لزوجة	viscosity
تدرج الحرارة الأرضية	geothermal gradient	رقبة بركان	volcanic neck
طفوح فلذ بركانية	pyroclastic flow	عاصفة وهاجة	nuee ardente-glowing
فوران شرخى	fissure eruption	مخروط رماد	cinder cone avalanches
		مخروط متطفل	parasitic cone
		مخروط مركب	composite cone
		مواد فلذبركانية	pyroclastic material

5



التجوية والتربة


5

التجوية

- التجوية الميكانيكية.
- التجوية الكيميائية
- معدلات التجوية

التربة

- قطاع التربة
- العوامل المتحكمة في تكوّن التربة
- أنواع التربة

تبدو الأرض من نظرة عابرة أنها لا تتغير ولا تتأثر بمرور الزمن. ولهذا السبب فانه قبل 200 سنة كان يعتقد معظم الناس بأن الجبال والبحيرات والصحارى هى ملامح ثابتة للأرض وأن عمرها لا يزيد عن بضع آلاف من السنين. ولكننا نعلم فى الوقت الحاضر بأن الجبال لا بد أن تخضع فى النهاية للتجوية والتعرية ثم يفضى بها الى البحر. وأن البحيرات سوف تملؤها الرواسب أو تجرفها الوديان وأن الصحارى تتكون وتختفى كلما حدثت تغيّرات طفيفة فى المناخ. فالأرض فى الحقيقة هى جسم دائب الحركة. إذ ترفع البراكين والنشاطات الحركية أجزاء من سطح الأرض، بينما تعمل القوى المعاكسة دائما على نقل المواد من المناطق المرتفعة الى المناطق المنخفضة. وتشمل العمليات الأخيرة ما يلى: -

1 - **التجوية** - تحطم وتحلل الصخور عند أو قرب سطح الأرض.

2 - **التعرية** - احتواء ونقل المواد الناتجة من عمليات التجوية المختلفة عن طريق ناقل متحرك على سطح الأرض، عادة ما يكون الماء والرياح والثلوج.

3 - **تبدد الكتل** - انتقال مواد الصخور الناتجة عن عمليات التجوية المختلفة الى أسفل المنحدرات تحت تأثير الجاذبية الأرضية وبدون عامل متحرك.

القوس الهش، منتزه الأقواس، نصب تذكارى لقوى تجوية الصخور.

فالتركيز الأول فى هذا الفصل هو على التجوية والنواتج الناشئة عنها. ولكن لا يمكن فصل التجوية بسهولة عن العمليتين الأخريين لأنه عندما تجزىء التجوية الصخور فان ذلك يساعد عمليات التعرية وتبدد الكتل وبالمثل فان نقل المواد عن طريق التعرية وتبدد الكتل يؤدى الى زيادة التحطم والتحلل فى الصخور.

التجوية

تتعرض كل المواد للتجوية. اعتبر مثلا المخلوط المصنّع للعجنة الذى يشبه الى حد كبير الرصيص. فالرصيف الجديد المصنوع من عجنة الترابة له شكل ومظهر أملس نيرّ. وبعد مرور سنوات قليلة فان نفس الرصيف سوف يظهر متقشرا، متشققا وخشنا مع وجود حصى بارزة على السطح. ولو كانت هناك شجرة مجاورة لجرفت وقوست عروقها الرصيف. فالتجوية تحدث عندما تتكسر أو تتفتت الصخور طبيعيا تلقائيا أو ذاتيا وتتحلل كيميائيا. وتتم التجوية الميكانيكية بواسطة قوى طبيعية تفتت الصخور وتجزئها الى قطع أصغر فأصغر دون أن تغير فى تركيبها الكيميائى. أما التجوية الكيميائية فانها تشمل تغير التركيب الكيميائى للصخور. ويمكن ضرب مثال بسيط لتوضيح الفرق بين هاتين الطريقتين من التجوية باستعمال قطعة من الورق. حيث يمكن تفتيت الورقة بتقطيعها الى قطع أصغر فأصغر كما يمكن أن تحلل الورقة باشعال النار فيها واحتراقها.

لماذا تتجوى الصخور.. التجوية ببساطة هى استجابة مواد الأرض للبيئة المتغيرة. فمثلا، بعد ملايين السنين من التأثيرا الحركية والتعرية، فان الصخور التي تعلو جسما ناريا مقتحما كبير الحجم، قد تنزع عنه ليتكشّف على السطح. فهذه الكتلة من الصخور المتبلّرة التى نشأت فى بيئة ذات حرارة وضغط عاليين على عمق عدة كيلومترات تحت الأرض، هى الآن معرضة لبيئة سطحية مغايرة تماما وغريبة نسبيا. واستجابة لذلك فان هذه الكتلة الصخرية سوف تتغير تدريجيا حتى تصل مرة أخرى الى تعادل وتوازن مع البيئة الجديدة. وهذا التغيرّ للصخور هو الذى نسمية بالتجوية. وفى الفقرات التالية سوف نناقش مختلف أوجه

التجوية الميكانيكية والكيميائية. ورغم أننا سنتناول هاتين العمليتين على انفراد، تذكّر دائما أنهما تعملان مجتمعتين.

التجوية الميكانيكية

عندما يتعرض الصخر الى التجوية الميكانيكية فانه يتجزأ الى قطع أصغر فأصغر. وتحتفظ كل قطعة بخصائص المادة الأصلية. ليكوّن تجمعا لقطع صغيرة كثيرة نتجت عن قطعة واحدة كبيرة. ويوضح شكل (5 ـ 1) كيف أن تفتت الصخر الى قطع أصغر يزيد من المساحة السطحية المتعرضة للتغير الكيميائى. وتحدث حالة مشابهة عندما يذوب السكر فى الماء. ففى هذه الحالة سوف تذوب البلورة الكبيرة ببطء أكثر من حجم مساو من الحبيبات الصغيرة بسبب الفرق فى المساحة السطحية. وبذلك فان تكسير الصخور الى قطع صغيرة بواسطة التجوية الميكانيكية من شأنه أن يزيد من المساحة السطحية المتعرضة للتغيرات الكيميائية.

وفى الواقع، هناك أربع عمليات طبيعية تؤدى الى تقطيع الصخور: دسر الصقيع، والتمدد الناتج عن تخفيف الحمل، والتمدد الحرارى، والنشاط الحياتى.

1 وحدة مربعة
4 وحدات مربعة

1 وحدات مربعة ×
6 جوانب ×
8 مكعبات =
48 وحدة مربعة

4 وحدات مربعة ×
6 جوانب ×
1 مكعب =
24 وحدة مربعة

شكل 5 ـ 1
تزيد التجوية الميكانيكية من المساحة السطحية المتاحة للتفاعل الكيميائى.

دسر الصقيع: يعتبر تفاوت التجميد والتدفئة من أهم عمليات التجوية الميكانيكية. فللماء خاصية فريدة وهى تمدده بمقدار 9 % عند التجميد. وتحدث هذه الزيادة فى الحجم لأنه عندما يتجمد الماء فان جزيئاته ترتب نفسها فى هيكل بلورى مفتوح. ونتيجة لذلك فعندما تتجمد المياه تحدث ضغطا الى الخارج. ويمكن التأكد من ذلك اذا ما ملأنا اناء بالماء ثم جمدناه، فاذا لم يوجد فراغ كاف بالاناء فانه سوف يتحطم.

وفى الواقع، تتسرب المياه الى الشقوق والفراغات التى فى الصخور، وعند تجمّدها تتمدد وتدسر الصخور وتسمى هذه العملية بدسر الصقيع (شكل 5 ـ 2). ويحدث معظم دسر الصقيع فى المناطق الجبلية، حيث توجد دورة يومية للتجمد والتدفئة. وهنا تتعرض قطاعات صخرية للدسر، وقد تهوى مكونة أكواما كبيرة تسمى **منحدرات ركامية**، والتى توجد عادة فى قدم البروزات الصخرية (شكل 5 ـ 3). كما يسبب دسر الصقيع أيضا كثيرا من الدمار للطرق فى المناطق الباردة وخصوصا فى بداية فصل الربيع عندما تستمر دورة التجميد والتدفئة. فكثيرا ما تنشأ الحفر تحت قضبان السكك الحديدية وربما تتداعى الحفر وتعوج القضبان تحت تأثير هذه القوى المدمرة.

تخفيف الحمل: عندما تتعرض الأجسام النارية الكبيرة، خصوصا تلك المكونة من الجرانيت، الى التعرية، تبدأ صفحات منه فى الانفصال. وهذه الطريقة التى تنتج عنها قشور مثل قشور البصل تسمى **بالتوريق**. ويعتقد بأن تكونها يعزى جزئيا الى انخفاض الضغط عندما تنزاح الصخور التى تعلوها. فالطبقات الخارجية تتمدد اكثر وتنفصل عن بقية الجسم الصخرى (شكل 5 ـ 4). وعادة ما تكون الشقوق التى تفصل كل طبقة قريبة من بعضها عند سطح الأرض، ولهذا فان سمك الطبقات الناشئة لا يزيد عن متر. وعلاوة على ذلك فان التشقق يحدث موازيا للشكل السطحى ويعطى الجسم الصخرى المتآكل شكلا مقببا. ويسبب استمرار التجوية فى النهاية فى انفصال القشر التى كونتها عملية التوريق بحيث تنزاح عن هذه الكتل

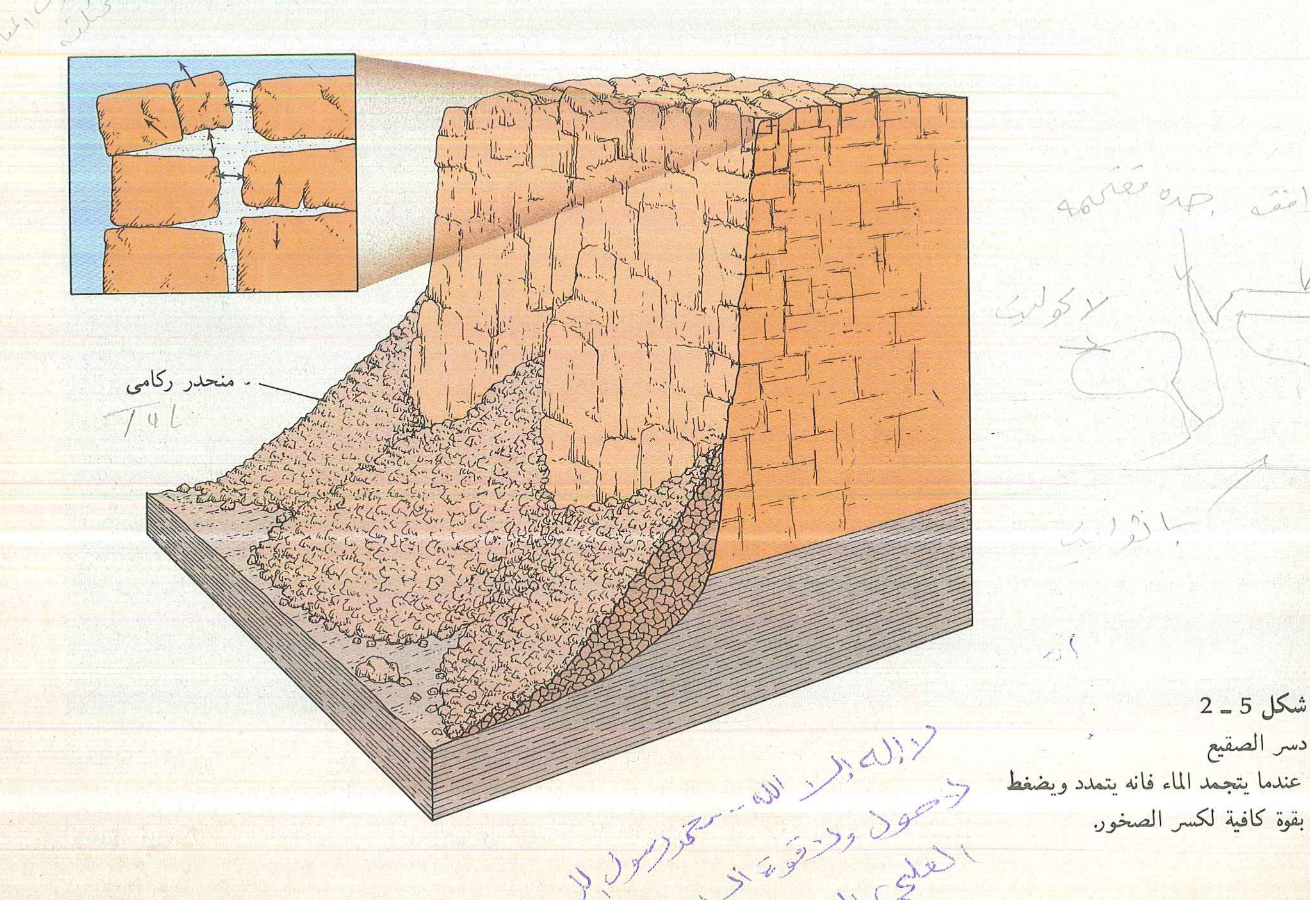
الصخرية الكبيرة. وهذه التراكيب تعرف بقباب التقشر. ومن الأمثلة المعروفة لقباب التقشر هى إستُون ماونتن بولاية جورجيا، هاف دوم، وليبرتى كاب، فى منتزه اليوسيميتى بالولايات المتحدة (شكل 5 ـ 5).

وتبين لنا أنفاق المناجم كيف تتصرف الصخور عندما يزاح الضغط المحيط بها. ومن المعروف أن طبقات كبيرة من الصخور قد تنفجر منفصلة عن جدران الأنفاق الجديدة فى المناجم بسبب انخفاض الضغط. وعلاوة على أن التشقق يحدث موازيا لقاع المقاطع الصخرية عندما تزاح كمية ضخمة من الكتل، فان أدلة من هذا النوع تعزز القول بأن عمليات تخفيف الحمل هى سبب فى التوريق.

ولو أن كثيرا من الشقوق يسببها انخفاض الضغط الا أن بعضها ينشأ عن التقلص عند تبلّر الصهير، وبعضها الآخر ينشأ عن القوى الحركية المصاحبة لبناء الجبال. وتسمى مثل هذه الشقوق فواصل. والفواصل هى من التركيبات الهامة التى توجد فى الصخور والتى تسمح بمرور الماء الى أعماق لتبدأ عملية التجوية قبل وصول الصخر الى سطح الأرض بوقت طويل.

التمدد الحرارى: يعتقد بأن التغيّرات اليومية فى درجة الحرارة تعمل على اضعاف مقاومة الصخور للتعرية وعلى الأخص فى المناطق الجافة ذات الحرارة المرتفعة، حيث يزيد الفرق فى درجة الحرارة اليومية عن 30° م. وتسخين الصخور يسبب تمددها ثم تبريدها بعد ذلك يسبب انكماشها. كما ان تعاقب الانتفاخ والانكماش فى المعادن ذات المعدلات المختلفة، يحدث عنه بعض الضغط على القشرة الخارجية للصخور.

ورغم أنه يسود الاعتقاد بأهمية هذه العملية فى تفتيت



شكل 5 ـ 2

دسر الصقيع

عندما يتجمد الماء فانه يتمدد ويضغط بقوة كافية لكسر الصخور.



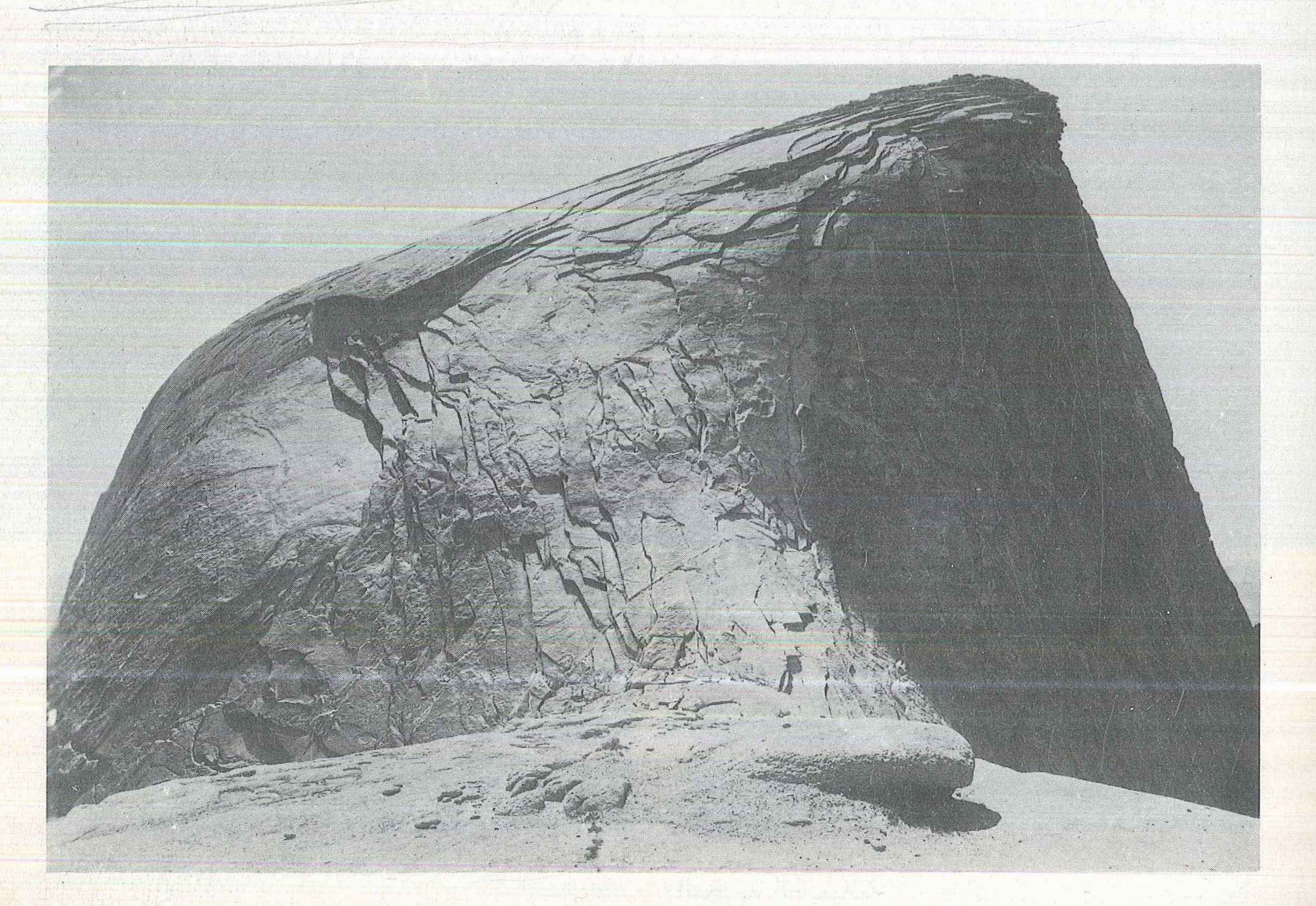
شكل 5 ـ 3
منحدر ركامى مكون من القطع المجواة عند قاعدة جدار جبلى.

شكل 5 ـ 4
فى الصورة عملية تقشر سبَّبه تمدد الصخور البلورية عندما تزيح التعرية ثقل الصخور التى تعلوها. تكثر الشقوق الموازية للشكل السطحى فى المناطق التى بها كتل جرانيتية مقتحمة.

الصخور، الا أن التجارب المعملية لم تفلح فى تأييد هذه الفكرة. ففى احدى التجارب سخنت الصخور الى درجة أعلى بكثير من الحرارة العادية التى يتعرض لها سطح الأرض، ثم بردّت. وتم تكرير هذه العملية عدة مرات لتمثل مئات السنين من التجوية ولكن الصخور أظهرت تغيرا طفيفا.

وبالرغم من ذلك فان الحصى فى المناطق الصحراوية يظهر أدلة قطعية لتهشم ناشىء عن تغيرات فى درجة الحرارة (شكل 5 ـ 7). ويقترح الحل المطروح لهذه المعضلة أن الصخور لا بد أن تمر بحالة ضعف من جراء التجوية الكيميائية قبل أن تتهشم بواسطة النشاط الحرارى، وزيادة على ذلك فان سرعة التبريد بواسطة الأمطار الصحراوية يمكن أن تساعد هذه العملية. ويحتاج الموضوع الى معلومات اضافية قبل الاجابة القطعية بشأن تأثير التغيرات الحرارية على تفتت الصخور.

النشاط الحياتى: تتم التجوية أيضا بواسطة نشاط النباتات والحيوانات الحافرة فى التربة وبواسطة الانسان. وتنمو جذور النباتات فى فواصل الصخور عند بحثها عن المعادن الذائبة. وعندما تكبر الجذور فانها تعمل على فلق الصخور. وتساعد الحيوانات الحافرة فى زيادة التفتت ونقل المواد الى السطح، حيث تتعرض للتجوية الطبيعية والكيميائية. هذا بالاضافة الى أن معظم الكائنات الميتة ينتج عنها أحماض عند تحللها



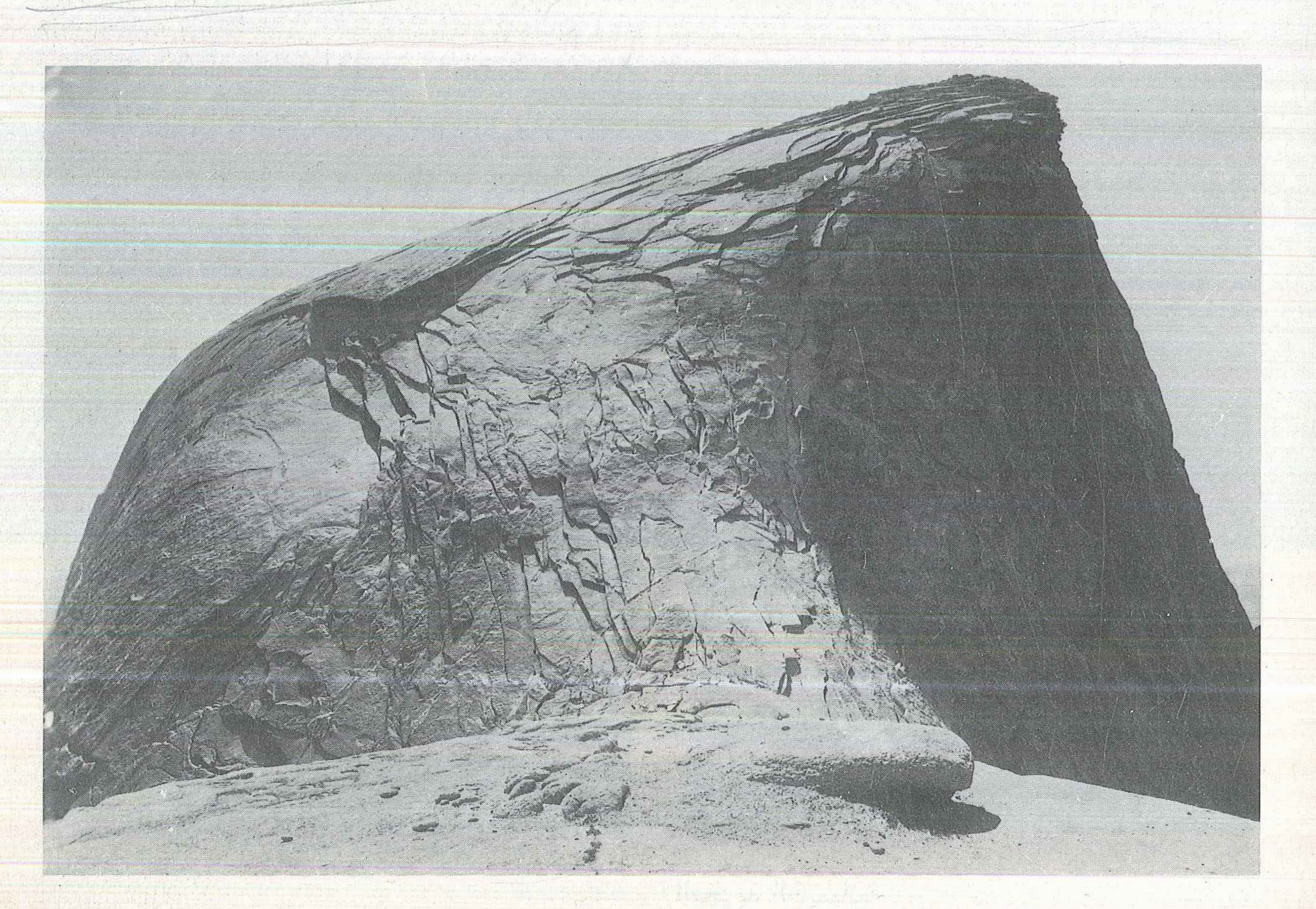
شكل 5 ـ 5

هاف دوم (القبة النصفية) وهى عبارة عن قبة تقشرّ تقع فى منتزه اليوسيميتى.

الصخور، الا أن التجارب المعملية لم تفلح فى تأييد هذه الفكرة. ففى احدى التجارب سخنت الصخور الى درجة أعلى بكثير من الحرارة العادية التى يتعرض لها سطح الأرض، ثم برّدت. وتم تكرير هذه العملية عدة مرات لتمثل مئات السنين من التجوية ولكن الصخور أظهرت تغيرا طفيفا.

وبالرغم من ذلك فان الحصى فى المناطق الصحراوية يظهر أدلة قطعية لتهشم ناشىء عن تغيرات فى درجة الحرارة (شكل 5 ـ 7). ويقترح الحل المطروح لهذه المعضلة أن الصخور لا بد أن تمر بحالة ضعف من جراء التجوية الكيميائية قبل أن تتهشم بواسطة النشاط الحرارى، وزيادة على ذلك فان سرعة التبريد بواسطة الأمطار الصحراوية يمكن أن تساعد هذه العملية. ويحتاج الموضوع الى معلومات اضافية قبل الاجابة القطعية بشأن تأثير التغيرات الحرارية على تفتت الصخور.

النشاط الحياتى: تتم التجوية أيضا بواسطة نشاط النباتات والحيوانات الحافرة فى التربة وبواسطة الانسان. وتنمو جذور النباتات فى فواصل الصخور عند بحثها عن المعادن الذائبة. وعندما تكبر الجذور فانها تعمل على فلق الصخور. وتساعد الحيوانات الحافرة فى زيادة التفتت ونقل المواد الى السطح، حيث تتعرض للتجوية الطبيعية والكيميائية. هذا بالاضافة الى أن معظم الكائنات الميتة ينتج عنها أحماض عند تحللها



شكل 5 ـ 5
هاف دوم (القبة النصفية) وهى عبارة عن قبة تقشرّ تقع فى منتزه اليوسيميتى.



شكل 5 ـ 6
منظر جوى لمنطقة مكتظة بالفواصل الصخرية تقع فى كانيون لاندز بجنوب شرقى يوتا غربى أمريكا.

مما يزيد من التجوية الكيميائية. وحيث تُقلع الصخور للبحث عن المعادن أو لبناء الطرق فان نشاط الانسان يلاحظ بوضوح، ولكن هذا النشاط يحتل المرتبة الثانية على المستوى العالمى بعد نشاط الحيوانات الحافرة فى عمليات نقل المواد الأرضية.

ورغم أن عوامل التعرية ـ الرياح والمياه الجارية والمجالد ـ عادة ما تناقش بمعزل عن التجوية الميكانيكية، الا أنها مهمة كذلك. لأن هذه العوامل المحركة لا تنفك عن التفتيت المستمر لقطع الصخور أثناء نقلها.

التجوية الكيميائية

تشمل التجوية الكيميائية عمليات معقدة تغير من

البنية الداخلية للمعادن بواسطة اضافة أو حذف لبعض العناصر. وخلال هذا التغير، تتحلل الصخور الاصلية الى مواد هى فى تعادل وتوازن مع البيئة السطحية، وبهذا فان نواتج التجوية الكيميائية لا يطرأ عليها أى تغير طالما بقيت فى بيئتها الجديدة.

وتعتبر المياه أهم عوامل التجوية الكيميائية، ورغم عدم نشاط المياه النقية الا أن اضافة كميات قليلة من المواد الذائبة يجعلها نشطة جدا. والعمليات التى تحلل فيها المياه الصخور هى عمليات الذوبان والتأكسد والحلمأة.

الذوبان: لعلّ الذوبان من أقرب أشكال التحلل للمشاهدة. وكما يذوب السكر فى الماء فان المعادن أيضا تذوب فى الماء بنفس الطريقة. وأكثر المعادن ذوبانا فى الماء هو الهاليت (ملح الطعام). وهو مركب من أيونات الصوديوم وأيونات الكلور كما سبق شرحه. ويرجع سبب الذوبان السريع للهاليت فى الماء الى ما يلى: ـ رغم أن هذا المركب يحتفظ بتعادل شحناته الكهربائية فإن كلا من أيوناته يحتفظ بشحنته. وبالاضافة الى ذلك فان جزئيات الماء المحيطة بكل أيون لها أقطاب، وهذا يعنى أن الطرف الذى به ذرة الأكسجين يحمل شحنة سالبة صغيرة والطرف الذى به ذرتى الهيدروجين يحمل شحنة موجبة صغيرة. فعندما تصطدم جزئيات الماء ببلورة الهاليت، فان نهاياتها السالبة تتصل بأيونات الصوديوم الموجبة الشحنة وتشتتها (شكل 5 ـ 9). وتعمل القوة الشادة للماء على جذب أيونات الصوديوم من النسيج البلورى. كذلك الحال بالنسبة لأيونات الكلور فهى أيضا تنقل بواسطة النهايات الموجبة لجزيىء الماء.

ولو أن معظم المعادن تذوب فى الماء، الا أن وجود كمية ضئيلة من الأحماض فى الماء يزيد بشكل ملحوظ القوة المشتتة للمياه (فالمحلول الحمضى يحتوى على أيون

شكل 5 ـ 7

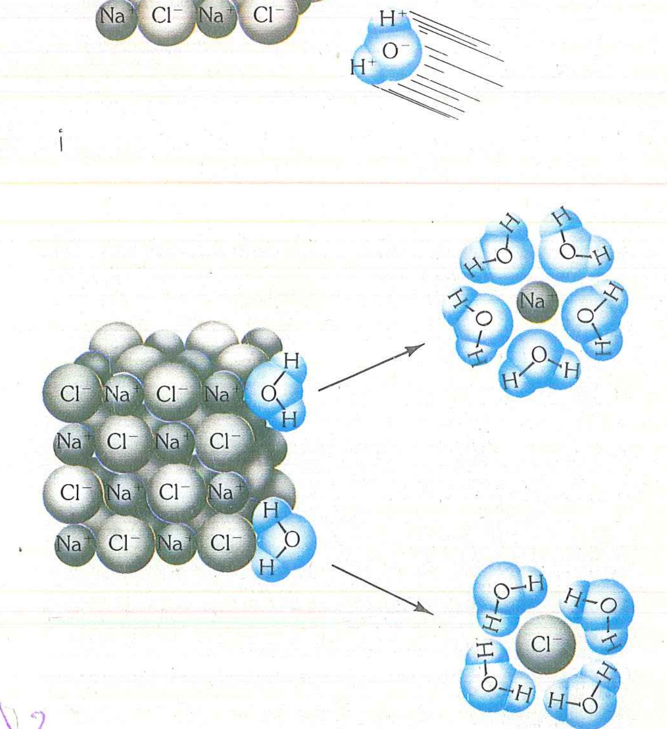
كانت هذه القطع الصخرية يوما ما جرولاً مدورا فى مجرى مائى ولكن تعرضها للمناخ الصحراوى الحار جعلها تتفتت.



شكل 5 ـ 8

يعمل دسر الجذور على توسيع الشقوق فى الصخور ويساعد على زيادة التجوية الميكانيكية.

الهيدروجين يد +). فمثلا معدن الكالسيت كا ك أ$_3$ الذى يشكل مادة حجارة البناء (الرخام والحجر الجيرى) من السهل جدا اذابته بأقل المحاليل الحمضية تركيزا: ـ



شكل 5 ـ 9

توضيح لطريقة ذوبان ملح الطعام فى الماء (أ) ـ تتم مهاجمة أيونات الصوديوم والكلور بواسطة جزيئات الماء ذات القطبين. (ب) ـ تحاط هذه الأيونات بعد اقتلاعها بعدد من جزيئات الماء الموضحة في الشكل.

كا ك أ$_3$ + 2 [يد + (يد$_2$ أ)] ⟵

كربونات الكالسيوم (غير قابل للذوبان) — محلول حمضى

كا$^{2+}$ + ك أ$_2$ ↑ 3 يد$_2$ أ

أيونات الكالسيوم (تذوب) — ثانى أكسيد الكربون — ماء

وخلال هذه العملية، تتحول كربونات الكالسيوم غير القابلة للذوبان الى نواتج ذائبة. وفى الطبيعة، خلال آلاف السنين، تذوب كميات كبيرة من الحجر الجيرى فى الماء وتحمل بواسطة المياه الجوفية. ومما يدل بوضوح على هذا النشاط وجود أعداد هائلة من الكهوف الجوفية فى كل المناطق التى بها صخور جيرية. والنصب التذكارية المصنوعة من الرخام أو الحجر الجيرى هى الأخرى تتعرض للتآكل بواسطة الأحماض وخصوصا فى المناطق الصناعية التى يكون فيها الهواء ملوثا وملبدا بالدخان.

وتبقى المواد الذائبة من جراءهذه التفاعلات فى مياهنا الجوفية. هذه الأيونات الذائبة هى نفسها المسئولة على المياه العسرة الموجودة فى عدة مناطق. ومن الطبيعى أن تكون هذه المياه العسرة غير مرغوبة، لأن الأيونات النشطة بها تتفاعل مع الصابون لتنتج مواد لا تذوب فى الماء، مما يضعف من قدرة الصابون على ازالة الأوساخ.

ولحل هذه المشكلة عادة ما يتم استعمال مادة ملينة للمياه لازالة هذه الأيونات وذلك فى كثير من الأحيان عن طريق استبدالها بأيونات أخرى لا تتفاعل كيميائيا مع الصابون.

التأكسد: يحدث الصدأ عندما يتّحد الأكسجين مع الحديد ليكون أكسيد الحديد وذلك كما يلى: ـ

4 ح + 3 أ$_2$ ⟵ 2 ح$_2$ أ$_3$

حديد — أكسجين — أكسيد حديد (هيماتيت)

ان هذا النوع من التفاعل الكيميائى، المسمى بالأكسدة، يحدث عندما يفقد أحد العناصر البعض من إليكتروناته عند التفاعل. ففى هذه الحالة نقول بأن الحديد قد تأكسد لأنه فقد اليكترونات للأكسجين. ورغم أن الأكسدة تتقدم ببطء فى البيئات الجافة الا أن وجود الماء يسرع من التفاعل.

تعتبر عملية الأكسدة مهمة فى تحلل المعادن ذات التركيب الحديدى والماغنيسى مثل الأوليفين والبيروكسين والأمفيبول. فالأكسجين يتحد بسهولة مع الحديد فى هذه المعادن لينتج أكسيد الحديد ذى اللون البنى المحمر والمسمى هيماتيت (ح$_2$ أ$_3$). أو فى بعض الحالات ـ هيدروأكسيد الحديد فى الصدأ المصفر المسمى ليمونيت [ح أ (أيد)]. وهذه النواتج هى التى تسبب لون الصدأ على سطح الصخور النارية الغامقة مثل البازلت تحت تأثير التجوية. ولكن الأكسدة يمكن أن تحدث بعد تحرر الحديد من هيكل السليكات بواسطة عملية أخرى تسمى بالحلمأة.

الحلمأة: تتحلل مجموعة السليكات، التى هى أوفر المجموعات المعدنية، بواسطة الحلمأة والتى تعنى بمعناها الأعم تفاعل أى مادة مع الماء. ونظريا يمكن أن يتحلل أى معدن فى وجود الماء النقى حيث أن بعض جزئيات الماء تنفصل لتكوّن أيون الهيدروجين (يد$^+$) النشط وأيون الهيدروكسيل (أيد$^-$). فالذى يهاجم ويحل محل الأيونات الموجبة الشحنة فى النسيج البلورى هو أيون الهيدروجين. وبدخول أيون الهيدروجين فى الهيكل البلورى ينفرط عقد الترتيب المنتظم للذرات ويبدأ المعدن فى التحلل.

وفى الطبيعة، يحتوى الماء عادة على مواد أخرى تساهم بأيونات اضافية للهيدروجين مما يعمل على الاسراع فى عملية الحلمأة. ومن أهم هذه المواد، ثانى أكسيد الكربون الذى يذوب فى الماء منتجا حامض الكربونيك، يد$_2$ ك أ$_3$. وعادة يذوب بعض من ثانى أكسيد الكربون الجوى فى مياه الأمطار بالاضافة الى كميات أخرى تأتى من تحلل المواد العضوية وتحملها المياه عند تسربها فى التربة. وفى الماء يتأين حامض الكربونيك مكونا أيونات الهيدروجين (يد$^+$) وأيونات البيكربونات (يد ك أ$_3$)$^-$. ولكى نوضح عملية الحلمأة فى الصخور فى وجود حامض الكربونيك، سوف نتناول التجوية الكيميائية للجرانيت، الذى يعتبر من أوفر صخور القشرة القارية. أنت تعلم أن الجرانيت يحتوى أساسا على معدنى المرو وفلسبار البوتاسيوم. وتجوية فلسبار البوتاسيوم الذى يحتوى عليه الجرانيت هى كما يلى: ـ

2 بولوس$_3$ أ$_8$ + 2 يد$^+$ + يد ك أ$_3^-$ + يد$_2$ أ

فلسبار البوتاسيوم + حامض الكربونيك + ماء

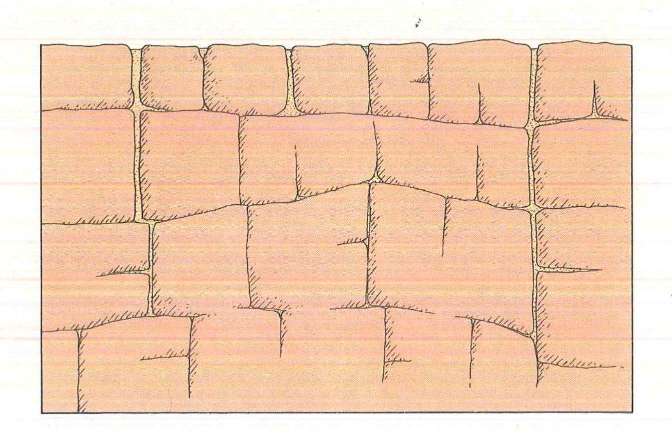
لو$_2$ س$_2$ أ$_5$ (أيد)$_4$ + 2 بو$^+$ + 2 يد ك أ$_3^-$ + 4 س أ$_2$

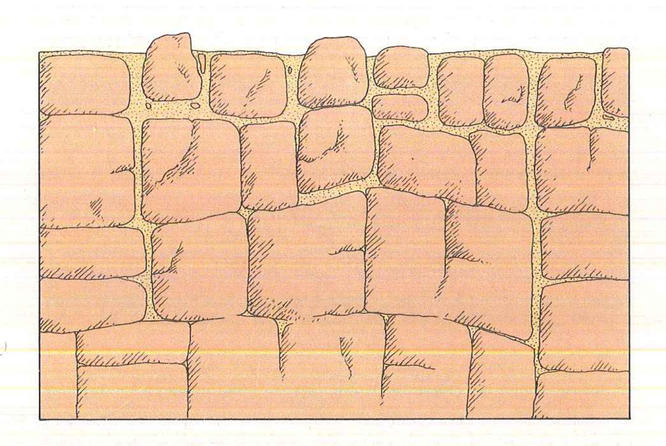
كاولينيت — أيون — أيون — سيليكا
طفلة متبقية — بوتاسيوم — بيكربونات

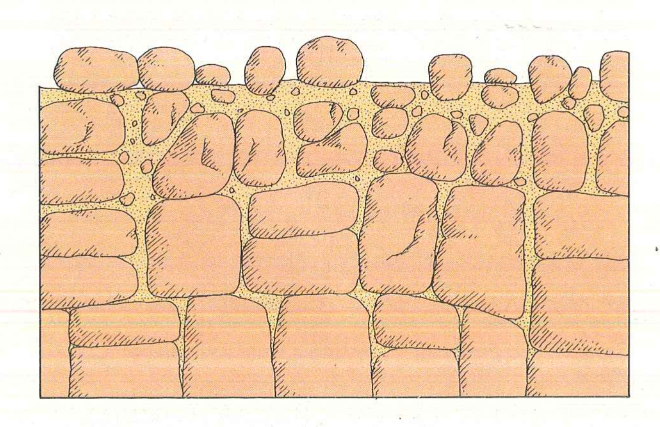
محلول

ففى هذا التفاعل، يهاجم أيون الهيدروجين (يد+) أيون البوتاسيوم (بو+) ويحل محله فى هيكل الفلسبار. وبذلك يختل توازن النظام البلورى. وبعد تحرر أيون البوتاسيوم يصبح متوفرا لتغذية النباتات فى التربة أو مكونا لملح بيكربونات البوتاسيوم (بو يد ك أ$_3$) المذاب. ويمكن أن يدخل فى تركيب معادن أخرى أو تحمله المياه الى المحيطات.

ويعتبر معدن الكاولينيت من أكثر النواتج وفرة التى تخلفها عملية التحلل الكيميائى لفلسبار البوتاسيوم. وهو يتكون نتيجة اضافة أيونات الهيدروكسيل الى النسيج البلورى. ومعادن الطفلة هى النواتج النهائية للتجوية وهى بطبيعتها مستقرة كيميائيا تحت الظروف السطحية. ولهذا فان معادن الطفلة تشكل نسبة كبيرة من المواد غير العضوية فى التربة. وعلاوة على ذلك فان أكثر الصخور الرسوبية وفرة، وهو الحجر الطينى، هو أيضا مكون من معادن الطفلة. وخلال هذه التفاعلات ينفصل جزء من السليكا من هيكل الفلسبار







شكل 5 ـ 10

التجوية الكروية لصخور مكتظة بالفواصل. يوسع الماء هذه الفواصل عند مروره خلالها، وحيث ان التجوية تزداد عند الحواف والنواصى فان الصخور تأخذ أشكالاً كُروِّيةٍ.

وينتقل مع المياه الجوفية. وسوف تترسب هذه السليكا الذائبة على هيئة عجيرات من الشيرت (الصوان) أو تملأ الفراغ فى المواد المدفونة تحت الأرض مثل الأشجار لتنتج أخشابا متحجرة أو تنقل الى المحيطات حيث تستعملها حيوانات مجهرية فى بناء أصدافها الصلبة.

وباختصار فان فلسبار البوتاسيوم عندما يتجوى ينتج عنه معادن طفلة متبقية. وأملاح ذائبة (بيكربونات البوتاسيوم)، وبعض السليكا التى تذوب فى الماء.

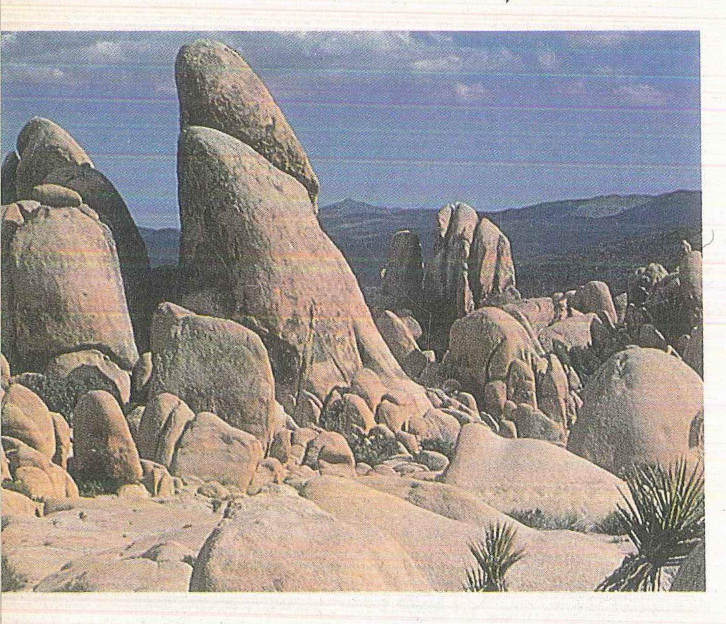
أما الكوارتز (المرو) وهو المكون الثانى للجرانيت فانه يقاوم بشدة عمليات التجوية الكيميائية. ولذلك فهو يبقى دون تأثر عندما يتعرض للأحماض الخفيفة. ونتيجة لذلك، عندما يتجوى الجرانيت تشحب بلورات الفلسبار وتتحول ببطء الى طفلة، مما يحرر حبيبات الكوارتز التى كانت محبوسة بينها، وهذه بدورها تبقى محتفظة بمظهرها الزجاجى. وبالرغم من أن القليل من الكوارتز يبقى فى التربة، فان الكثير يذهب الى البحر ليصبح المكوّن الرئيسى للشواطىء الرملية، ومع الوقت يصير صخورا رسوبية تسمى الحجر الرملى.

ويبين الجدول (5 ـ 1) قائمة بنواتج التجوية لبعض معادن السليكات الشائعة. تذكّر أن معادن السليكات تشكل معظم صخور القشرة الأرضية، وأنها مكونة بصورة أساسية من 8 عناصر فقط. وأثناء التجوية الكيميائية ينتج عن

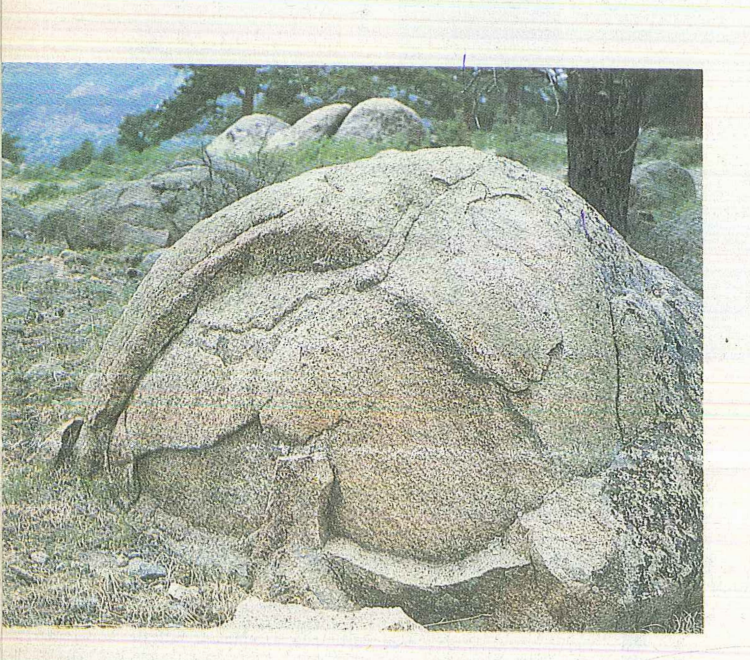
جدول 5 ـ 1

نواتج التجوية

النواتج الذائبة	الناتج الصلب	المعدن
سليكا	حبيبات كوارتز	مرو
سليكا بو$^{+}$، ص$^{+}$، كا$^{+2}$	معادن الطفلة	فلسبار
سليكا كا$^{+2}$ ، ما$^{+2}$	معادن الطفلة ليمونيت هياتيت	أمفيبول (هورنبلند)
سليكا ما$^{+2}$	ليمونيت هياتيت	أوليفين



شكل 5 ـ 11
التجوية الكروية لنتوء متماسك من الجرانيت شرقى أريزونا.



شكل 5 ـ 12
تنفصل قشر متعاقبة كلما استمرت عملية التجوية فى التعمق فى الصخور شيئاً فشيئاً.

معادن السليكا أيونات الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم والماغنيسيوم وهذه تكوّن مواد ذائبة يمكن أن تنقلها المياه الجوفية. أما عنصر الحديد فهو يتحد مع الأكسجين ليكوّن أكاسيد الحديد غير القابلة للذوبان فى الماء. ومن أهمها الهياتيت والليمونيت، وهى تعطى التربة لونها البنى المحمّر أو المصفرّ. وتحت معظم الظروف فان العناصر المتبقية وهى الألومنيوم والسليكون والأكسجين تتحد مع الماء مكونة معادن الطفلة المتبقية. وحتى هذه المواد غير القابلة للذوبان تنقلها المياه الجوفية شيئا فشيئا.

التغيرات التى تحدثها التجوية الكيميائية ان من أهم نتائج التجوية الكيميائية كما ذكر آنفا، هى تحلل المعادن غير المستقرة مع تكوّن وبقاء معادن أخرى متوازنة مع الظروف السائدة على سطح الأرض. وهذا يفسر توفر معادن معينة فى المواد السطحية تكوّن ما يسمى بالتربة. وبالاضافة الى تغير التركيب الداخلى للمعادن، تسبب التجوية الكيميائية فى تغيرات طبيعية. فمثلا، عندما تتعرض قطع الصخور المزواة للمياه الجارية فى الفواصل الصخرية فان هذه القطع تأخذ أشكالا مدورة. ويوضح شكل (5 ـ 10) عملية التدوير المتدرج لحواف وأطراف الكتل المزواة. وزوايا القطع الصخرية أكثر تعرضا للتجوية الكيميائية لأن نسبة مساحتها السطحية إلى حجمها كبيرة اذا ما قيست بالحواف والأسطح. وتعطي هذه العملية الصخر المجوى مظهرا مكورا، وعليه فانها تسمى **بالتجوية الكروية** (شكل 5 ـ 11).

كثيرا ما يحدث أثناء تكوّن الجلاميد الكروية أن تنشأ قشور متتابعة تنفصل من الصخرة الرئيسية (شكل 5 ـ 12). وفى النهاية فان القشرة الخارجية تنزاح معطية فرصة للتجوية الكيميائية للتغلغل الى عمق أكبر فى الصخرة المجواة. وينشأ هذا التقشر الكروى لأن المعادن الموجودة فى الصخور عندما تتجوى تتحول الى طفلة وهذه بدورها تزداد فى الحجم لاضافة الماء الى هيكلها البلورى. ان هذه الزيادة فى الكتلة تضغط بقوة الى الخارج مما يتسبب عنه انفصال القشور الكروية عن الصخرة الأم. وبذلك فان التجوية

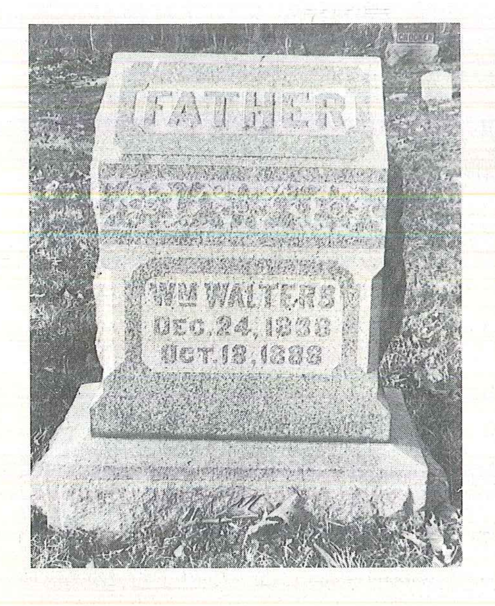
الكيميائية تنتج قوى قادرة على استحداث تجوية ميكانيكية. ان هذا النوع من التجوية الكروية يجب أن لا يخلط بظاهرة التوريق التى تمت مناقشتها سابقا. ففي التوريق تتم عملية الانفصال نتيجة لتخفيف الحمل وتبعا لذلك فالطبقات المنفصلة لا تظهر أى تغير كيميائى عند انفصالها.

معدلات التجوية

يتأثر نوع ومعدل تجوية الصخور بعدة عوامل، من أهمها التركيب الصخرى والمناخ والتضاريس.

التركيب الصخرى: يتضمن التركيب الصخرى كل الخصائص الكيميائية للصخور بحيث يشمل التركيب المعدنى والقابلية للذوبان كما يشمل الملامح الطبيعية التى يمكن أن تتواجد فى الصخور مثل الشقوق والأسطح الطبقية والفجوات. ويمكن توضيح التفاوت فى معدلات التجوية التى تنشأ عن الاختلاف فى التركيب المعدنى بمقارنة نصب المقابر المصنوعة من أنواع مختلفة من الصخور. فالنصب المصنوعة من الجرانيت المحتوى على معادن السليكات تظهر مقاومة نسبية أكبر، كما يلاحظ ذلك من النقوش المحفورة فيها وكما يظهر فى شكل 5 ـ 13. وهذا لا ينطبق على النصب المصنوعة من الرخام التى يبدو عليها التآكل الشديد خلال فترات قصيرة. تذكّر أن الرخام يحتوى على كربونات الكالسيوم التى تذوب بسهولة حتى فى الأحماض المخففة.





شكل 5 ـ 13

يبين فحص نصب المقابر معدل التجوية الكيميائية لأنواع مختلفة من الصخور. أقيم النصب المصنوع من الجرانيت (الى اليسار) قبل النصب المصنوع من الرخام (الى اليمين) بست سنوات. وقد صار النصب المصنوع من الرخام الذى أقيم عام 1894 م. غير مقروء.

زيادة المقاومة للتجوية الكيميائية ↓

فلسبار الكالسيوم		الأوليفين
فلسبار الصوديوم		البيروكسين
		الأمفيبول
		البايوتيت
	فلسبار البوتاسيوم	
	المسكوفيت	
	الكوارتز	

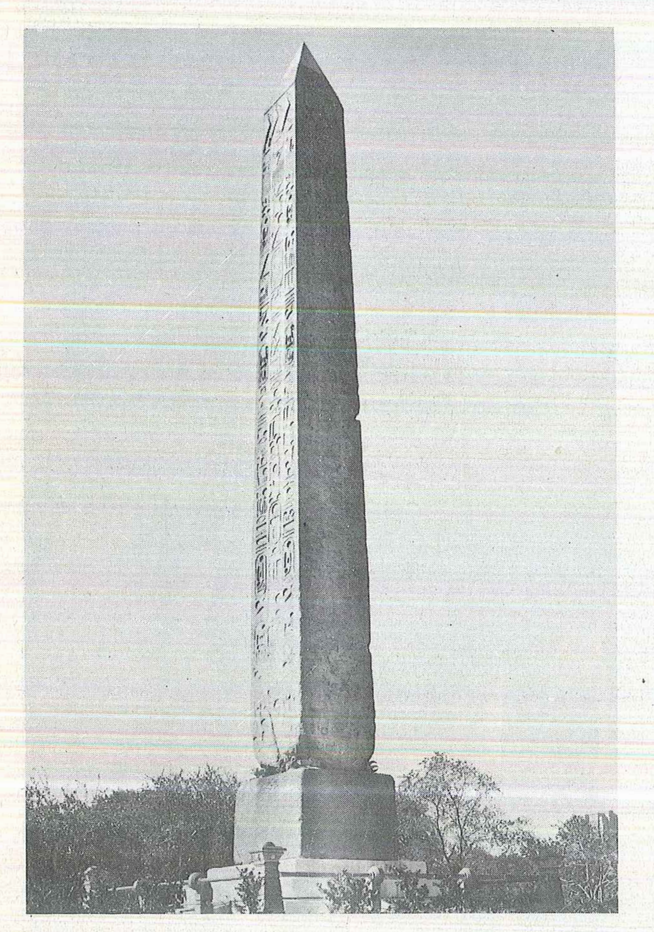
شكل 5 ـ 14

درجة استقرار معادن السليكات الشائعة وعلاقة ذلك بالتجوية الكيميائية. فالمعادن التى تتبلر فى درجات الحرارة العالية تتحلل بطريقة أسرع والعكس بالعكس.

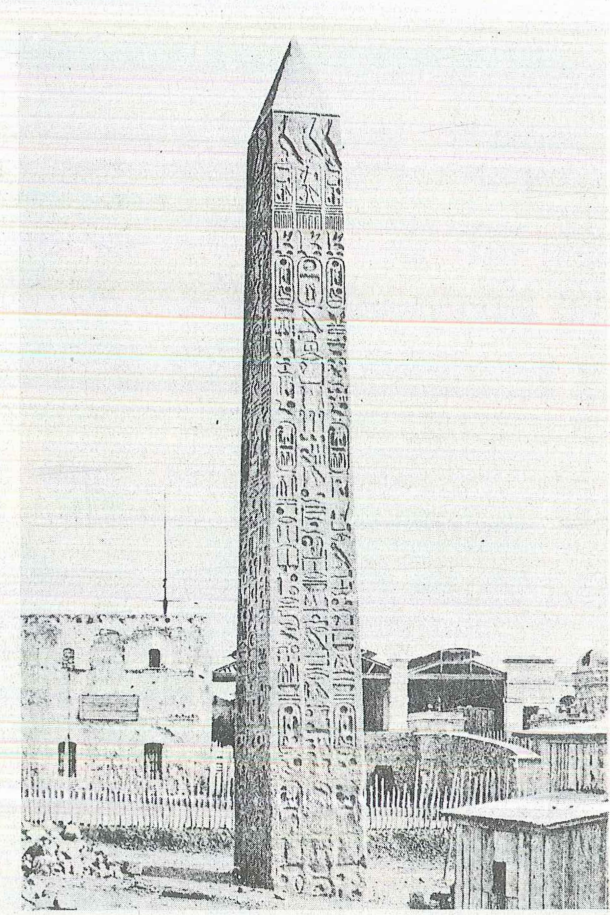
تفاعلات ...

وتتجوى السليكات، التى هى أكثر المعادن وفرة على النحو المبين فى شكل(5-14) . ويتطابق هذا الترتيب للمعادن مع تتابع تفاعلات بووين. فالترتيب الذى تتجوى به معادن السليكات هو نفس الترتيب الذى تتبلر به هذه المعادن. فالمعادن التى تتبلر أولا تتكون فى درجات حرارة أعلى بكثير من المعادن التى تتبلّر أخيرا. ولهذا فان المعادن المتبلرة أولا ليس لها نفس الاستقرار الكيميائى عند سطح الأرض حيث تختلف درجات الحرارة والضغط عند البيئة التى تكونت فيها. وبفحصنا الشكل 5 ـ 14 نجد أن الأوليفين يتبلّر أولا، وهو بذلك أقل المعادن مقاومة للتجوية الكيميائية بينما يعتبر معدن الكوارتز الذى يتبلر أخيرا أكثر المعادن مقاومة لها.

المناخ: تعتبر العوامل المناخية، وعلى الأخص الحرارة والرطوبة، ذات أهمية أساسية لمعدل تجوية الصخور. وتتحكم



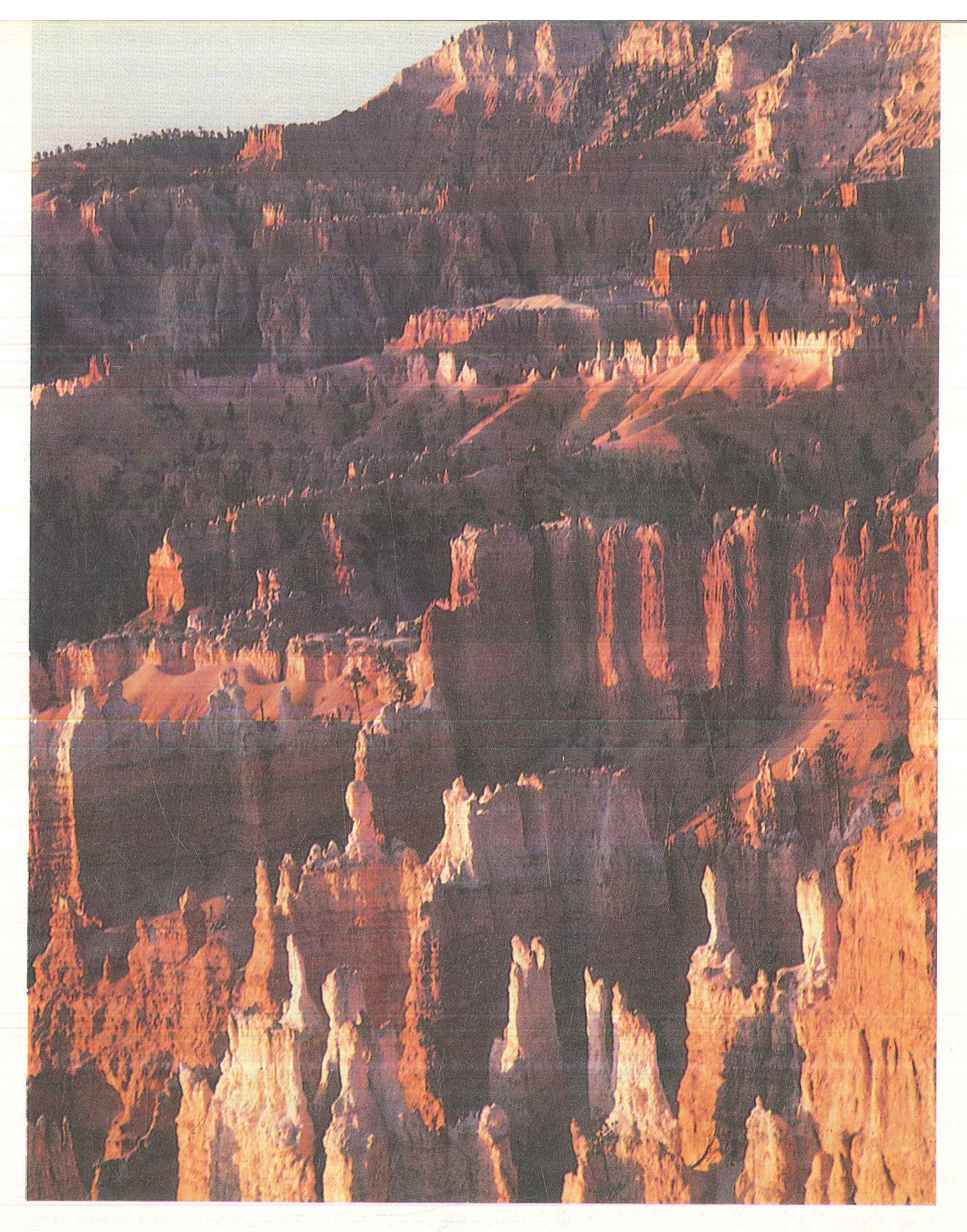
ب



أ

شكل 5 ـ 15

التجوية الكيميائية فى ابرة كليوبترة وهى مسلة من الجرانيت. (أ) ـ قبل نقلها من مصر. (ب) ـ بعد مضى 75 عاما فى المتنزه المركزى لمدينة نيويورك. فبعد مقاومته لعوامل التعرية لمدة 35 قرنا فى مصر، انمَحَى الجانب المقابل للرياح فى أقل من قرن واحد.



شكل 5 ـ 16
منتزه أخدود برايس . تبرز التجوية الفروق بين الصخور فتنتج بذلك بعض المناظر الخلابة.

هذه العناصر المناخية الى حد كبير فى معدل التجوية. وتحدد بطريقة غير مباشرة نوع وكمية الغطاء النباتى. فالمناطق التى بها غطاء نباتى كثيف لها تربة سميكة غنية بالمواد العضوية المتحللة، التى تستمد منها المحاليل الكيميائية النشطة مثل حامض الكربونيك وحامض الهيوميك..

والبيئة المناسبة للتجوية الكيميائية هى خليط بين درجات الحرارة الدافئة ووفرة الهواء الرطب. ففى المناطق القطبية، ليس للتجوية الكيميائية أى تأثير لأن درجات الحرارة القاسية تحبس الرطوبة على هيئة ثلج. وكذلك الحال فى المناطق الجافة، فان انعدام الرطوبة يبطىء من التجوية الكيميائية. ومن الأمثلة المعروفة التى تجسد أثر المناخ فى معدل التجوية الكيميائية، هى مسلة كليوبترة، وهى مسلّة من الجرانيت نقلت من مصر الى مدينة نيويورك بعد أن قاومت عمليات التعرية لمدة تزيد عن 3500 سنة فى مناخ مصر الجاف. وفى أقل من 75 سنة منذ تعرضها لجو مدينة نيويورك الرطب (والغنى) بالمواد الكيميائية، أزيلت الكتابة الهيروغليفية من الجانب المواجه للرياح (شكل 5 ـ 15).

التضاريس: تؤثر التضاريس فى كمية الصخور المعرضة لقوى التجوية، كما أن وضع التضاريس قد يتحكم بشكل غير مباشر فى كمية الامطار وفى نوعية وكمية الغطاء النباتى.

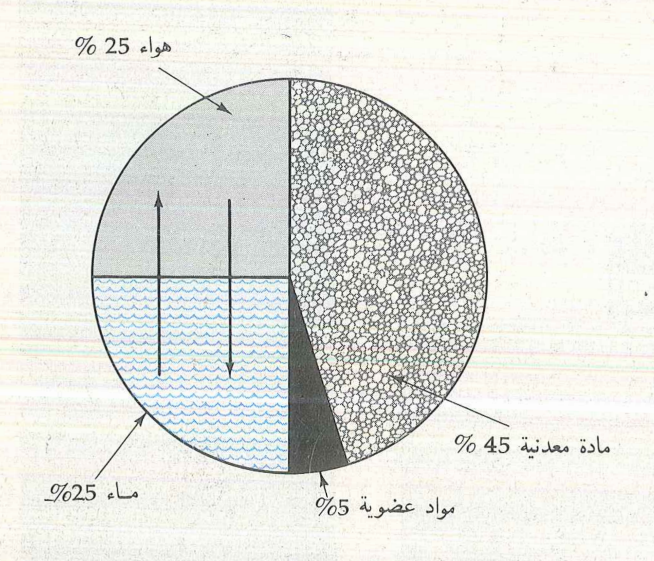
وتكثر التضاريس الوعرة التى بها نتوءات صخرية كبيرة ومتفاوتة فى المناطق الجافة، بينما تكثر فى المناطق الرطبة التضاريس المنخفضة والمستوية التى تغطيها النباتات وتراكمات التربة. وتعزى هذه الفروق عادة لزيادة نشاط التجوية الكيميائية فى المناطق الرطبة وزيادة نشاط التجوية الميكانيكية فى المناطق الجافة. وربما يكون من الأصح القول بأن التجوية الكيميائية مهمة فى المنطقتين، بينما تزداد أهمية التجوية الميكانيكية نسبيا فى المناطق الجافة.

ومجموع هذه العوامل يحدد نوع ومعدل تجوية الصخور فى أى منطقة. ولكن هناك فروق واضحة داخل كل منطقة تعمل على تفاوت التجوية فى الصخور. فالتفاوت فى التجوية وما يتبعها من تعرية هما المسئولان على المناظر الخلابة التى تميز قمم الجبال والهضاب. وهذه تشمل أشكالا مثل القناطر الطبيعية التى توجد فى منتزه آرشيز (أنظر الصورة فى افتتاحية هذا الفصل) وكذلك التركيبات الصخرية المدببة مثل التى توجد فى منتزه برايس كانيون (شكل 5 ـ 16).

التربة

لقد سميت التربة عن جدارة بحلقة الوصل بين عالم الأحياء وعالم الأموات. ويتوقف وجود الحياة على ما يقارب الاثنا عشر عنصرا كيميائيا المستمدة من القشرة الأرضية. فتحول أولا التجوية الصخور الى تربة ثم تقوم النباتات بدورها كوسيط قادر على امتصاص العناصر الضرورية وتوفيرها من بعد للحيوان والانسان.

ويغطى الهشيم سطح الأرض باستثناء أجزاء قليلة. والهشيم هو الطبقات المكونة من قطع الصخور والمعادن



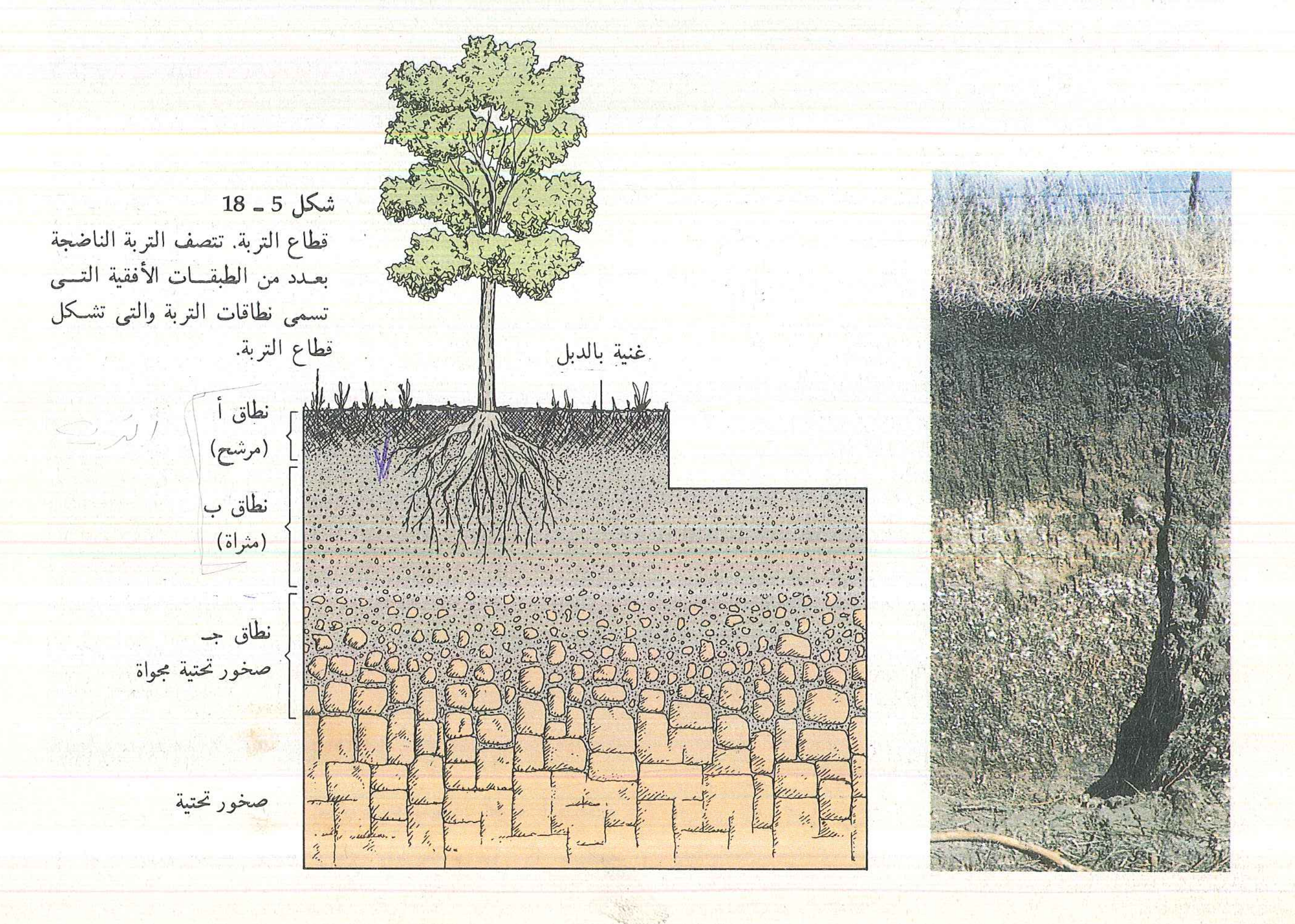
شكل 5 ـ 17
تركيب (حجمى) لتربة صالحة لنمو النباتات. فبالرغم من تفاوت النسب، فإن كل تربة تتركب من معادن ومواد عضوية وماء وهواء.

المهشمة الناتجة عن التجوية. ويسمى البعض هذه المواد تربة، ولكن التربة لا تعنى فقط تراكما للقطع الصخرية. فالتربة هى خليط من الصخور والمعادن والمواد العضوية والماء والهواء وهى ذلك الجزء من الهشيم الذى تنمو فيه النباتات ورغم أن النسب قد تتفاوت الا أن المكونات الأساسية للتربة ثابتة (شكل 5 ـ 17). ويتكوّن حوالى نصف الحجم الكلى لتربة سطحية جيدة من خليط من الصخور (مواد معدنية) المتفتتة والمتحللة ومن بقايا الحيوانات والنباتات (مواد عضوية). أما النصف الباقى فيشغله فراغ حيث يتخلله الماء والهواء.

قطاع التربة

لو أنك قمت بحفر خندق فى الأرض، فانك ستجد أن جدرانه مكونة من طبقات متتابعة. هذه الطبقات تسمى **نطاقات التربة** وتكون فى مجموعها **قطاع التربة** (شكل 5 ـ 18). ويمكن التعرف على ثلاثة نطاقات أساسية يشار لها من أعلى الى أسفل بنطاق أ، ب، جـ، على الترتيب. كما أنه يمكن تقسيم نطاقى ب، جـ.

فالطبقة العليا فى قطاع التربة وهى نطاق (أ) تسمى عادة **بالتربة السطحية**. وهو الجزء من التربة الذى يتسم



شكل 5 ـ 18
قطاع التربة. تتصف التربة الناضجة بعدد من الطبقات الأفقية التى تسمى نطاقات التربة والتى تشكل قطاع التربة.

بأكبر نشاط حياتى، حيث تكثر به المواد العضوية. وحيث أن نطاق أ يقع عند سطح الأرض فهو الذى تصله الأمطار أولا. وتبعا لذلك فان المواد الذائبة والحبيبات الدقيقة مثل الطفلة ترشح منه (تغسل الى أسفل) عن طريق المياه المتخللة.

وتحت التربة السطحية مباشرة يقع نطاق (ب) أو التربة التحتية. وفى هذا النطاق تترسب معظم المواد المزاحة من نطاق (أ). ولهذا السبب يطلق على نطاق (ب) منطقة التراكم. وحيث أن نطاق (ب) يحتل موقعا وسطا فى قطاع التربة فيمكن اعتباره جزئيا على الأقل منطقة انتقالية. فمثلا تزيد وفرة الكائنات الحية والمواد العضوية فى نطاق (ب) عنه فى نطاق (جـ) ولكن أقل بكثير من نطاق (أ). ويكون نطاق (أ)، (ب) مجتمعين السوّلوم أو التربة الحقيقية. وفى السولوم تنشط عمليات تكوّن التربة وينحصر بشكل كبير تواجد الجذور الحية ونشاط النباتات والحيوانات الأخرى.

وتحت السوّلوم يقع نطاق (جـ) وهى طبقة تتميز بالتغير الجزئى للمواد الأم مع قليل من المواد العضوية ان وجدت (شكل 5 ـ 18). وقد يصل التغيّر فى المواد الأم المكونة للسوّلوم درجة يستحيل معه التعرف على خصائصه الأولية غير أنه يمكن التعرف عليها فى نطاق (جـ).

وقد تكون الخطوط الفاصلة بين نطاقات التربة واضحة جدا وقد تمتزج هذه النطاقات تدريجيا من واحد الى آخر. وعلاوة على ذلك فان هناك تربة تفتقد النطاقات كليا. ويوصف هذا النوع من التربة بأنه غير ناضج لأن عملية بناء التربة لم تبدأ به الا من فترة قصيرة. وتعد التربة غير الناضجة خاصية من خصائص السفوح شديدة الانحدار. حيث تعمل عوامل التعرية على تجريد السفوح من التربة مانعة بذلك التكوّن الكامل لنطاقاتها.

العوامل المتحكمة فى تكوّن التربة

التربة هى نتاج تداخلات معقدة لعدة عوامل تشمل المادة الأصلية والزمن والمناخ والنباتات والحيوانات، والانحدار. ولو أن هذه العوامل يعتمد بعضها على بعض الا أنه من السهل تناول دور كل منها على حدة.

المادة الأصلية: المادة الأصلية التى تستمد منها التربة اما أن تكون الصخور التى تحتها أو طبقة من الرواسب غير المتصلبة. وتسمى التربة المتكونة فوق الصخور بالتربة الموضعية. أما التربة المتكونة من الرواسب غير المتصلبة فتسمى بالتربة المنقولة (شكل 5 ـ 19). تؤثر طبيعة المادة الأصلية فى التربة بطريقتين، أولا، نوع المادة الأصلية يؤثر الى حد ما فى معدل التجوية وبالتالى فى معدل تكوّن التربة. فمثلا يؤثر التركيب المعدنى للمادة الأصلية فى معدل التجوية الكيميائية. وحيث أن المواد غير المتصلبة هى مجواة جزئيا فان تكوّن التربة فيها سوف يكون اسرع من تكونه فى الصخور الصلبة. ثانيا، يؤثر التركيب الكيميائى للمادة الأصلية فى خصوبة التربة، فاذا كانت تفتقر الى العناصر اللازمة لنمو النباتات فان فائدتها سوف تضمحل.

وقد كان يعتقد فى الماضى بأن المادة الأصلية هى العامل الأساسى الذى يسبب الفوارق بين أنواع التربة. غير أنه قد اتضح لعلماء التربة بأن هناك عوامل أخرى أكثر أهمية وعلى الأخص المناخ. وفى الحقيقة قد وجد أن أنواعا متشابهة من التربة تنتج غالبا من مواد أصلية مختلفة وأن أنواعا مختلفة من التربة تنتج من نفس المادة الأصلية. ومثل هذه الاكتشافات تؤكد مجددا أهمية العوامل الأخرى المكونة للتربة.

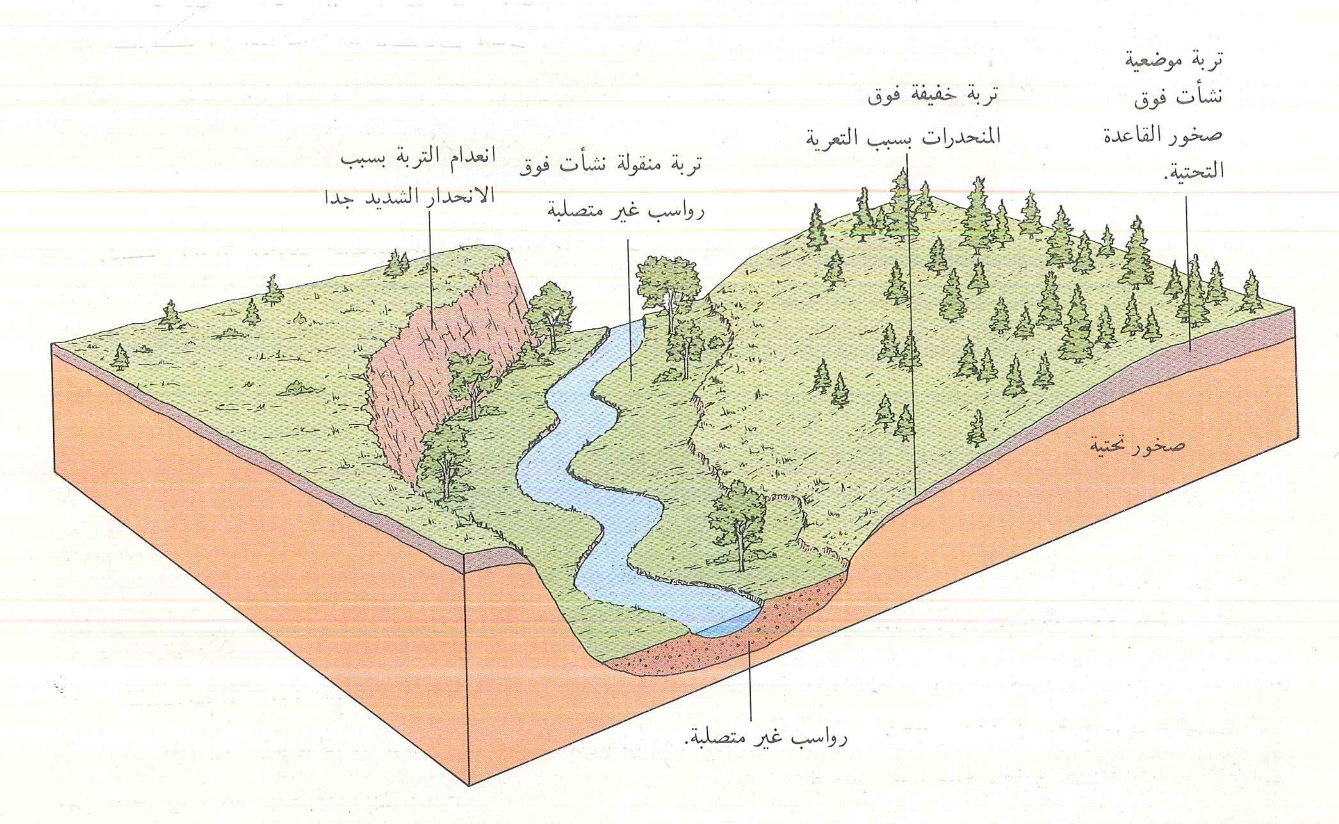
الزمن: اذا استمرت التجوية لمدة قصيرة نسبيا، فان طبيعة المادة الأصلية تنعكس الى حد كبير فى أوصاف التربة المتكونة. وكلما استمرت التجوية كلما تغلب تأثير العوامل الأخرى المكونة للتربة على تأثير المادة الأصلية. ولهذا فان الزمن يعد عاملا مهما فى تكوين التربة. وليس من الممكن تحديد فترة زمنية معينة لتكوين كل نوع من أنواع التربة، وذلك لأن عمليات التكوين تسير بمعدلات متفاوتة تحت الظروف المختلفة. غير أنه يمكن القول بأنه كلما طال الزمن

اللازم لتكوّن التربة زاد سمك التربة وقلّ اختلافها فى التركيب عن المواد الأصلية المستمدة منها.

المناخ: يعد المناخ أهم العوامل المتحكمة فى تكوّن التربة. فهو الذى يقرر ما اذا كانت ستسود التجوية الكيميائية أم التجوية الميكانيكية فى عملية التكوين، كما انه يؤثر أيضا فى معدل وعمق التجوية. فمثلا يمكن أن ينتج المناخ الرطب الحار طبقة سميكة من التربة المجواة كيميائيا فى نفس الفترة الزمنية التى ينتج فيها المناخ البارد والأقل رطوبة قشرة رقيقة من الفتات المجوى ميكانيكيا. وعلاوة على ذلك فان كمية المطر يؤثر فى المدى الذى ترشح فيه المواد المختلفة من التربة مما ينعكس على خصوبة التربة. وفى النهاية، فان العوامل المناخية تتحكم أيضا فى نوع الحياة النباتية والحيوانية السائدة فى التربة.

النباتات والحيوانات: ان المهمة الرئيسة للنباتات والحيوانات هنا هى توفير المواد العضوية للتربة. فنجد أن أنواعا مختلفة من تربة المستنقعات تكاد تكون معظمها مكونة من المواد العضوية، بينما تحتوى تربة الصحراء على جزء بسيط من واحد فى المائة من المواد العضوية. ورغم أن كمية المواد العضوية تتفاوت من تربة الى أخرى الا أنه لا توجد تربة تفتقر اليها.

والمصدر الأساسى للمواد العضوية هو النباتات، مع بعض المساهمة أيضا من الحيوانات والكائنات المجهرية



شكل 5 ـ 19

المواد الأصلية (الأم) ـ فالمواد الأصلية للتربة الموضعية هى عبارة عن صخور القاعدة التحتية، بينما تنشأ التربة المنقولة فوق الترسيبات غير المتماسكة. لاحظ أيضا أن التربة تكون رقيقة أو منعدمة فوق المنحدرات.

الدقيقة. فعندما تتحلل المواد العضوية فانها تزود النباتات بالمواد المقوية، كما انها تصبح غذاءً للحيوانات والكائنات المجهرية التى تعيش فى التربة. وتبعا لذلك فان خصوبة التربة تعتمد على كمية المواد العضوية الموجودة بها. هذا بالاضافة الى أن تحلل بقايا النباتات والحيوانات ينتج عنه عدة أحماض عضوية. وتعمل هذه الأحماض المعقدة على الاسراع فى عمليات التجوية. كما أن للمواد العضوية قدرة عالية على تخزين الماء ولهذا فهى تساعد على حفظ الماء فى التربة.

وتلعب الكائنات الدقيقة، بما فى ذلك الفطريات والبكتيريا والأوليات وحيدة الخلية، دورا فعالا فى تحلل بقايا النباتات والحيوانات. والناتج النهائى هو **الدبال** وهو مادة شبه جيلاتينية لم يعد لها شبه بالنباتات والحيوانات التى استمدت منها. هذا بالاضافة الى أن بعض الكائنات الدقيقة تساعد على خصوبة التربة لأن لديها القدرة على تثبيت (تغيير) النيتروجين الجوى الى نيتروجين التربة.

وتعمل ديدان الأرض والحيوانات الحفارة على مزج المعادن والأجزاء العضوية من التربة. فمثلا تتغذى ديدان الأرض على المواد العضوية فى التربة وتمزج بعناية التربة التى تعيش فيها، وعادة ما تحرك وتثرى عدة أطنان فى الفدان الواحد فى السنة. وتساعد الحفر والمسارب التى تتركها هذه الحيوانات على مرور الماء والهواء خلال التربة.

الانحدار: للانحدار دور هام فى كمية التعرية والمحتوى المائى للتربة. فالتربة المتكونة على المنحدرات الشديدة، عادة ما تكون ضعيفة التكوين. وفى هذه الحالات تكون كمية المياه التى تتخللها قليلة. ولهذا فان محتوى التربة من الرطوبة قد لا يكون كافيا لنمو ملحوظ فى النبات. ونظرا للتعرية المتزايدة على المنحدرات الشديدة فان التربة تكون ضحلة أو غير موجودة فى بعض الحالات (شكل 5 ـ 19). ومن جهة أخرى فان للتربة المشبعة بالمياه ذات الصرف الردىء فى الأراضى المنخفضة خواص مختلفة تماما. وعادة ما تكون هذه التربة سميكة وغامقة اللون، ويرجع لونها الغامق الى محتواها العالى من المواد العضوية، التى تراكمت بفعل حالات التشبع الناجمة من تحلل المواد النباتية. والمنحدر الأمثل لتكوّن التربة هو سطح مرتفع مستو أو متموج. فهناك نجد الصرف الجيد الى جانب الحد الأدنى من التعرية وتسرب كمية مناسبة من المياه الى التربة.

أما وُجْهَةُ المنحدر أو الاتجاه الذى يقابله المنحدر، فهو مسألة أخرى تستحق الذكر. فعند المناطق المناخية المتوسطة تحصل المنحدرات المواجهة للجنوب على كمية من ضوء الشمس أكبر بكثير مما تحصل عليه المنحدرات المواجهة للشمال. وفى الحقيقة، فان الأسطح شديدة الانحدار المواجهة للشمال قد لا تحصل على أى كمية مباشرة من ضوء الشمس. ويسبب الفرق فى كمية أشعة الشمس المستقبلة فروقا فى درجات الحرارة وفى كمية الرطوبة. وهذا بدوره سوف يؤثر فى طبيعة الغطاء النباتى وفى خصائص التربة.

ورغم أننا هنا قد قمنا بمعالجة كل عامل من عوامل تكوين التربة على انفراد، تذكّر أن جميعها تعمل متحدة لتكوين التربة. فلا يوجد عامل واحد مسئول عن تواجد نوع معين من التربة. وعموما فإن الذى يؤثر فى نوع التربة هى عوامل تأثير المادة الأصلية والزمن والمناخ والنباتات والحيوانات والمنحدر مجتمعة.

أنواع التربة

فى المناقشة التالية سوف نتناول باختصار بعض أنواع التربة الشائعة. وعند قراءتك لهذا الجزء لاحظ أن خصائص كل نوع من أنواع التربة تعكس بالدرجة الأولى حالة المناخ السائدة. ويلخص الجدول رقم 5 ـ 2 خصائص أنواع التربة التى تمت مناقشتها فى هذا الجزء من الكتاب.

فكلمة البيدالفير تعطى دلالة للخصائص الأساسية لهذا النوع من التربة . فالكلمة مستمدة من الاغريقية «بيدون» التى تعنى تربة والرموز الكيميائية al (لو)

للألومينيوم و fr (ح) للحديد. وتتميز تربة بدالفيرا باحتوائها على تراكم أكاسيد الحديد والطين الغنى بالألومينيوم فى نطاق (ب) فى المناطق متوسطة المناخ. ويزيد هنا معدل سقوط الأمطار عن 63 سنتيمترا، وعليه تترشح من التربة معظم المواد القابلة للذوبان مثل كربونات الكالسيوم وتنقلها المياه الباطنية بعيدا. أما المواد قليلة الذوبان فهى تنتقل من نطاق (أ) وتتراكم فى نطاق (ب) مما يعطى هذا النطاق لونه البنى أو البنى المحمر. يعد الغطاء النباتى فى الغابات أحسن موقع لتكوّن هذا النوع من التربة حيث تتوفر كميات كبيرة من المواد العضوية المتراكمة والظروف الحمضية اللازمة للترشيح.

أما كلمة بيدوكال: فهى كلمة مشتقة من اليونانية «بيدون» بمعنى تربة والحروف الثلاثة الأولى من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم). وكما يدل عليه هذا الاسم فان تربة البيدوكال تتميز بتراكم كربونات الكالسيوم. وتميز هذه التربة مناطق المراعى والأحراش الجافة نسبيا لمناطق عدة من العالم. وحيث أن التجوية الكيميائية فى المناطق الجافة تكون أقل حدة، فان البيدوكال تحتوى على نسبة من معادن الطفلة أقل مما هو موجود فى البيدالفير.

وفى المناطق الجافة وشبه الجافة عادة ما تترسب فى التربة طبقة غنية بالجير تسمى بالطبقة الكلسية أو الكاليش

جدول 5 ـ 2

ملخص أنواع التربة

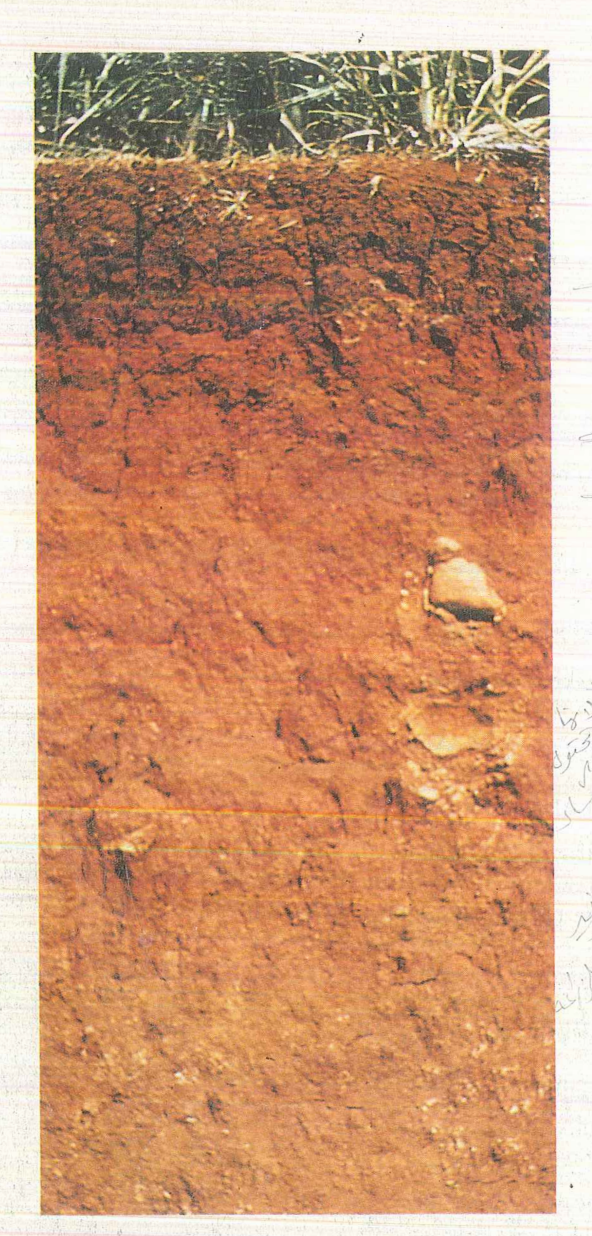
المناخ	متطرف قطبي أو صحراوي	استوائي (غزير المطر)	معتدل جاف (المطر أقل من 63 سم)	معتدل رطب (المطر أكثر من 63 سم)
لغطاء النباتى	عديم النباتات تقريبا وعديم الذبال	اعشاب وأشجار	اعشاب طويلة وشجيرات	غابـات
نوع التربة				
		لاتيريت	بيدوكال	بيد ألفير
التربة السطحية	لا توجد تربة حقيقية لانه لا توجد مواد عضوية والتجوية الكيميائية بطيئة جدا (عديمة النطاقات)	غنية بالحديد والالمنيوم لون احمر اجورى رشحت جميع العناصر الأخرى (عديمة النطاقات)	غنية بالكالسيت لون ابيض عادة	رملية، لون فاتح، حامضية
التربة التحتية			غنية بالكالسيت لون أبيض	غنية بالحديد والالومنيوم ومعادن الطفلة، لون بنى
ملاحظـات		يبدو ان البكتيريا تحلل الذبال بحيث لا تتكون الاحماض لازالة الحديد	الكلس هو الاسم الذى يطلق على تراكم الكالسيت	اقصى تطور فى غابات الصنوبر حيث وفرة الذبال تزيد من حموضة المياه الجوفية وتنتج تربة رمادية اللون لترشيح عنصر الحديد منها

وفى هذه هذه المناطق يصل القليل من الأمطار الساقطة الى أعماق كبيرة حيث تحتفظ حبيبات التربة بمعظم المياه قرب السطح حتى تتبخر. ونتيجة لذلك فانه يتم رشح المواد القابلة للذوبان والتى هى كربونات الكالسيوم بصورة رئيسة من الطبقات العليا وترسيبها الى أسفل مكونة بذلك الطبقة الكلسية.

وفى المناخ الحار والرطب، تتكون تربة استوائية تعرف بالاتيريت حيث تزداد حدة التجوية الكيميائية. وهذه التربة تكون عادة أعمق من تلك المتكونة فى نفس الفترة الزمنية فى المناطق المعتدلة. ولا يتم فقط ازالة المواد الذائبة مثل الكالسيت ولكن تزيل أيضا كميات كبيرة من المياه المتسربة معظم السليكا مما ينتج عنه تركيز أكاسيد الحديد والألومينيوم فى التربة. فالحديد يعطى التربة لونها الأحمر المميز (شكل 5 ـ 2). وعندما تجف اللاتيريت تكون شديدة الصلابة. ويستعمل بعض الناس هذه التربة فى صناعة الآجر. واذا كانت الصخور الأصلية تحتوى قليلا من الحديد فان نواتج التجوية تكون تراكما غنيا بالألومنيوم يسمى البوكسيت الذى هو الخام الأساسى لمعدن الألومنيوم.

وحيث أن نشاط البكتيريا يزداد فى المناطق الاستوائية، فان اللاتيريت لا تحتوى على دبل يذكر. واذا ما اقترنت هذه الحقيقة مع طبيعة هذه التربة ذات الرشح العالى وصلابة الآجر، فان ذلك يجعل من اللاتيريت تربة غير صالحة للزراعة. ويلاحظ ان قلة خصوبة التربة تتكرر باستمرار فى البلدان الاستوائية فى جميع المناطق التى امتد اليها الاستزراع.

أما فى المناخ البارد أو المناخ الجاف فعادة ما يقل سمك التربة وتزداد رداءتها. وأسباب ذلك تكون معروفة. فنشاط التجوية الكيميائية يتقدم ببطء شديد فى هذا المناخ. والغطاء النباتى قليل ولا ينتج عنه الا القليل من المواد العضوية.



شكل 5 ـ 20

اللون الأحمر المميز لتربة اللاتيريت الجيدة التكوين.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ ميّز بين نواتج التجوية الميكانيكية ونواتج التجوية الكيميائية.

2 ـ فى أى من البيئات يكون دسر الصقيع أكثر تأثيرا؟ فى المناطق الجبلية

3 ـ صف عمليتى التوريق والتجوية الكروية. فيم يختلفان وفيم يتشابهان؟

4 ـ كيف تساعد التجوية الميكانيكية على تعميق أثر التجوية الكيميائية؟

5 ـ تظهر عند السطح صخور كل من الجرانيت والبازلت فى منطقة ذات مناخ حار ورطب:

أ ـ أى نوع من التجوية سيسود؟

ب ـ أى النوعين من الصخور سيتجوى أسرع؟ ولماذا؟

6 ـ الحرارة تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية. لماذا إذاً تتم عملية التجوية الكيميائية ببطء فى الصحارى الحارة؟

7 ـ كيف يتكون حامض الكربونيك (يد$_2$ ك أ$_3$) فى الطبيعة؟ وماذا يحدث عندما يتفاعل هذا الحامض مع معدن الفلسبار البوتاسى؟

8 ـ ما هو الفرق بين التربة والهشيم؟

9 ـ ضع قائمة بالخصائص المميزة لكل نطاق من نطاقات التربة فى قطاع لتربة جيدة التكوين. أى نطاق يمثل السّولوم؟ تحت أى الظروف تنعدم النطاقات فى التربة؟

10 ـ ما هى العوامل التى قد تسبب فى تكوين أنواع مختلفة من التربة من نفس المصدر (الصخر الأم) وأنواع متشابهة للتربة من مصادر مختلفة؟

11 ـ ما هو أكثر العوامل أهمية فى تكوين التربة؟ اشرح. المناخ

12 ـ كيف يؤثر الانحدار فى تكوين التربة؟ ماذا يقصد بمصطلح وُجْهَة الانحدار؟

13 ـ ما هو الفرق بين تربة البيدالفير وتربة البيدوكال؟

14 ـ تحتوى كلٌ من التربة المتكونة فى المناطق الاستوائية الرطبة والمناطق القطبية المتجمدة على قليل من المواد العضوية. فهل كلٌ منهما يفتقر الى الدبل لنفس السبب؟

الكلمات الدالة :

الاذابة	solution
التأكسد	oxidation
التجوية	weathering
التجوية الكروية	spheroidal weathering
التجوية الكيميائية	chemical weathering
التجوية الميكانيكية	mechanical weathering
التعريـة	erosion
التربـة	soil
التربـة التحتية	subsoil
التربة السطحية	surface soil
التربة المنقولة	transported soil
التربة الموضعية	residual soil
التربة غير الناضجة	immature soil
التوريق	sheeting

الحلمأة	hydrolysis
الدّبـل	humus
السّولوم	solum
الفواصل	joints
الكليش	caliche
المادة الأم	parent material
المنحدر الركامى	talus slope
الهشيم	regolith
بيدالفير	pedalfer
بيدوكال	pedocal
تبدّد الكتل	mass wasting
دسر الصقيع	frost wedging
قبة التقشر	exfoliation dome
قطاع التربة	soil profile
لاتيريت	laterite
نطاق	horizon